

# A ARQUITETURA E A JUNÇÃO AS ESTRUTURAS ESPACIAIS EM AÇO ENQUANTO PROJETO DO EDIFÍCIO

**HOMERO MARCONI PENTEADO**



Dissertação apresentada à  
Escola de Engenharia de São Carlos  
da Universidade de São Paulo,  
Como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Mestre em  
Tecnologia do Ambiente Construído

ORIENTADOR  
**Prof. Dr. Jorge O. Caron**

são carlos  
1 9 9 9

Class.	TESE-EESC
Cutt.	4243
Tombo	051/00

31100008592

S/S 1074948

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P419a      Penteado, Homero Marconi  
A arquitetura e a junção : as estruturas espaciais  
em aço enquanto projeto do edifício / Homero Marconi  
Penteado. -- São Carlos, 1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de  
São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.  
Área: Tecnologia do Ambiente Construído.  
Orientador: Prof. Dr. Jorge O. Caron.

1. Estrutura espacial. 2. Junção. 3. Design.  
I. Título.

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Candidato: Arquiteto **HOMERO MARCONI PENTEADO**

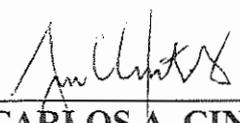
Dissertação defendida e aprovada em 23.11.99  
pela Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Doutor **JORGE OSVALDO CARON (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Doutor **AZAEEL RANGEL CAMARGO**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Doutor **JOSÉ ANGELO RODRIGUES GREGOLIN**  
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Assoc. **CARLOS ALBERTO FERREIRA MARTINS**  
Coordenador da Área de Tecnologia do Ambiente Construído

  
\_\_\_\_\_  
**JOSÉ CARLOS A. CINTRA**  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*a meus pais, seo Osvaldo e dona Lira,  
pela tranq̃ilidade proporcionada para a realizaçãõ deste trabalho  
ao "mestre" Caron,  
pela inquietaçãõ necessãria ao desenvolvimento deste trabalho  
a Karla,  
pelo carinho, dedicaçãõ e incentivo*

# SUMÁRIO

iv

<b>lista de figuras</b>	vi
<b>resumo</b>	x
<b>abstract</b>	xi

## **1**

<b>INTRODUÇÃO</b>	1
-------------------	---

---

## **2**

<b>ARQUITETURA, INDÚSTRIA, DESIGN</b>	6
<b>campo de desenvolvimento da temática</b>	

---

<b>técnica e tecnologia</b>	8
<b>industrialização da construção</b>	15
<b>Conceitos</b>	27
<b>Design</b>	36

<b>3</b>	
<b>ÊNFASE ESTRUTURAL NA ARQUITETURA</b>	49
<b>da estereotomia ao esqueleto metálico</b>	
<hr/>	
<b>estrutura</b>	50
<b>progresso técnico – ferro e aço na arquitetura</b>	55
<b>4</b>	
<b>O NÓ E AS ESTRUTURAS ESPACIAIS</b>	67
<hr/>	
<b>o nó</b>	70
<b>estrutura espacial</b>	72
<b>o nó nas estruturas espaciais</b>	85
<b>sistemas</b>	87
<b>o caso brasileiro</b>	98
<b>5</b>	
<b>RENZO PIANO</b>	105
<hr/>	
<b>uma visão contemporânea de design estrutural/arquitetônico</b>	
<b>os nós de piano</b>	123
<b>detalhes do ibm travelling pavilion</b>	126
<b>6</b>	
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	130
<hr/>	
<b>7</b>	
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	133
<hr/>	

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

vi

<b>fig.</b>	<b>título</b>	<b>fonte</b>	<b>pg</b>
<b>1</b>	Joseph Paxton: Palácio de Cristal – 1851	Kohlmaier, 1981	7
<b>2</b>	Le Corbusier, Maison Domino – 1920	Argan, 1993	20
<b>3</b>	Ponte sobre o rio Severn, próximo à cidade de Coalbrookdale, Inglaterra, 1777	Pevsner, 1996	56
<b>4</b>	Joseph Paxton, Crystal Palace, 1851: pórticos (esqueleto)	Villalba, 1996	57
<b>5</b>	Joseph Paxton, Crystal Palace, 1851: detalhes construtivos	Frampton, 1996	57
<b>6</b>	V. Contamin engenheiro, com assistência de Dutert, arquiteto. Halle des Machines, 1889	Pevsner, 1996	58
<b>7</b>	Henri Labrouste, Biblioteca Nacional da França – 1858	Villalba, 1996	60
<b>8</b>	Henri Labrouste, Biblioteca de Ste. Genèvieve – 1843-1850: Detalhes construtivos	Villalba, 1996	60
<b>9</b>	Viollet le Duc: detalhes mostrando uma construção em ferro fundido, 1872	Pevsner, 1996	61
<b>10</b>	Victor Horta, Maison du Peuple, 1896	Pevsner, 1996	62
<b>11</b>	Louis Sullivan, loja Carson Pirie Scott, 1899-1904	Pevsner, 1996	63
<b>12</b>	Skidmore, Owings and Merrill, John Hancock Center, 1969	Danz & Menges, 1975	63

<b>13</b>	Mies van der Rohe, 860/880 Lake Shore Drive, Chicago, 1948-51: montagem do edifício	Cohen, 1994	64
<b>14</b>	Mies van der Rohe, Seagram Building, Nova Iorque, 1954-58	Cohen, 1994	64
<b>15</b>	Frei Otto, Pista de Baile, 1957	Roland, s.d.	65
<b>16</b>	Frei Otto, Pista de Baile, 1957	Roland, s.d.	65
<b>17</b>	Pier Luigi Nervi, Salão de Exposições	Joedicke, 1958	65
<b>18</b>	Pier Luigi Nervi, Salão de Exposições	Joedicke, 1958	65
<b>19</b>	Alexander Graham Bell, primeira estrutura espacial – 1907	Makowski, 1968	74
<b>20</b>	Gustave Eiffel, Torre – 1889	Lemoine, 1986	75
<b>21</b>	Sistema Zerone para estandes de exposição	Domus Dossier, 4/97	79
<b>22</b>	Sistemas para exposições MERO	www.mero.com	79
<b>23</b>	Sistemas para exposições MERO	www.mero.com	79
<b>24</b>	Sistemas para exposições MERO	www.mero.com	79
<b>25</b>	Cobertura plana em estrutura espacial	Makowski, 1968	81
<b>26</b>	Yona Friedman, de 1963, sugere a extensão dos princípios da malha espacial para escala urbanística.	Balladur et alii, 1965	81
<b>27</b>	Yona Friedman, de 1963, sugere a extensão dos princípios da malha espacial para escala urbanística.	Balladur et alii, 1965	81
<b>28</b>	Pavilhão para a exposição mundial de Montreal de 1967, onde a estrutura espacial é utilizada em toda a estrutura.	Margarit & Buxadé, 1972	82
<b>29</b>	Projeto de Louis Kahn de uma estrutura tridimensional de 1954. Fotografia da maquete	Giurgola, 1980	82
<b>30</b>	Projeto de Louis Kahn de uma estrutura tridimensional de 1954. plantas e corte.	Giurgola, 1980	82
<b>31</b>	Kenzo Tange, Pavilhão Grande Praça do Sol na Expo Osaka 1970	L'Architecture d'Aujourd'hui, 1970	83
<b>32</b>	Kenzo Tange, Pavilhão Grande Praça do Sol na Expo Osaka 1970	L'Architecture d'Aujourd'hui, 1970	83
<b>33</b>	Kenzo Tange, Pavilhão Grande Praça do Sol na Expo Osaka 1970	L'Architecture d'Aujourd'hui, 1970	83
<b>34</b>	Kenzo Tange, Pavilhão Grande Praça do Sol na Expo Osaka 1970	L'Architecture d'Aujourd'hui, 1970	84
<b>35</b>	Kenzo Tange, Pavilhão Grande Praça do Sol na Expo Osaka 1970	L'Architecture d'Aujourd'hui, 1970	84
<b>36</b>	Sistema MERO, nó e barra: esquema	Margarit & Buxadé, 1972	87
<b>37</b>	Nó MERO padrão, 18 furos	Catálogo técnico	88
<b>38</b>	Família de nós e barras MERO padronizada	Catálogo técnico	89
<b>39</b>	Família de nós e barras MERO padronizada	Catálogo técnico	89
<b>40</b>	Montagem de estrutura	Margarit & Buxadé, 1972	90
<b>41</b>	Exemplos de barras e nó	Www.mero.com	90
<b>42</b>	Igreja em Dusseldorf, onde a estrutura envolve todo o edifício	Makowski, 1968	91
<b>43</b>	Estrutura proposta pela própria empresa, composta de tubos de 55mm de diâmetro por 2,5m de comprimento.	Margarit & Buxadé, 1972	91
<b>44</b>	Duas torres, a primeira construída em Munique e a outra para uma emissora de rádio alemã.	Makowski, 1981	92
<b>45</b>	Duas torres, a primeira construída em Munique e a outra para uma emissora de rádio alemã.	Makowski, 1981	92
<b>46</b>	Pavilhão de uso militar na Escócia.	Makowski, 1981	92
<b>47</b>	Uma outra proposta da empresa para a construção de edifícios residenciais	Margarit & Buxadé. 1972	93

<b>48</b>	Varição da estrutura compondo pórticos no pavilhão alemão de uma exposição industrial no Sudão	Makowski, 1981	93
<b>49</b>	Plataforma de serviços e cobertura	www.mero.com	93
<b>50</b>	Plataforma de serviços e cobertura	www.mero.com	93
<b>51</b>	Nó formado pela união de barras por um parafuso	Margarit & Buxadé, 1972	94
<b>52</b>	Space Deck	Makowski, 1968	95
<b>53</b>	Nó oktoplate	Makowski, 1968	95
<b>54</b>	Nó Unistrut – década de 50	Makowski, 1968	96
<b>55</b>	Nó Triodetic – década de 60	Margarit & Buxadé, 1972	96
<b>56</b>	Nó Triodetic – década de 60	Margarit & Buxadé, 1972	96
<b>57</b>	Nó Nodus – 1972	Makowski, 1981	97
<b>58</b>	Alusud, nó típico	Catálogo técnico	99
<b>59</b>	Nó com chapa de extremidade	Fotografia: Alusud	99
<b>60</b>	Alusud: nó de aço	Fotografia: Alusud	100
<b>61</b>	Alusud: nó de aço	Fotografia: Alusud	100
<b>62</b>	Sistema Bemo-Varitec	Catálogo técnico	101
<b>63</b>	Sistema Bemo-Varitec	Catálogo técnico	101
<b>64</b>	Sistema Bemo-Varitec	Catálogo técnico	101
<b>65</b>	Sistema Bemo-Varitec	Catálogo técnico	101
<b>66</b>	Sistema Bemo-Varitec	Catálogos técnicos	101
<b>67</b>	Sistema Bemo-Varitec	Catálogos técnicos	101
<b>68</b>	Nó com chapa de extremidade	Fotografia Alusud	102
<b>69</b>	Sistema Tri-o-tec	Catálogo técnico	103
<b>70</b>	Sistema Tri-o-tec	Catálogo técnico	103
<b>71</b>	NóMetalnox	Publicidade	103
<b>72</b>	Nó Triform	Publicidade	103
<b>73</b>	Sistema Axis	croqui do autor	104
<b>74</b>	Estrutura piramidal em poliéster reforçado projetada por Z. S. Makovski, década de 60	Arts & Architecture, 8/1966	106
<b>75</b>	Estrutura piramidal em poliéster reforçado projetada por Z. S. Makovski, década de 60	Arts & Architecture, 8/1966	107
<b>76</b>	Abóbada composta de módulos de plástico reforçado desenvolvida por Piano – 1965	Arts & Architecture, 8/1966	107
<b>77</b>	Cobertura em módulos piramidais desenvolvida por Piano com a colaboração de outros jovens arquitetos e engenheiros italianos – 1964	Domus 448, março/1967	107
<b>78</b>	Cobertura em módulos piramidais desenvolvida por Piano – 1964	Arts & Architecture, 8/1966	107
<b>79</b>	Cobertura em módulos piramidais desenvolvida por Piano – 1964	Arts & Architecture, 8/1966	107
<b>80</b>	Renzo Piano, Studio Laboratorio (Office Workshop) – 1969: fachada	A+U, 3/1989	108
<b>81</b>	Renzo Piano, Studio Laboratorio (Office Workshop) – 1969: interior	A+U, 3/1989	108
<b>82</b>	Renzo Piano, Studio Laboratorio (Office Workshop) – 1969: vista da fachada	Domus 479, outubro/196	108
<b>83</b>	Renzo Piano, Studio Laboratorio (Office Workshop) – 1969: croqui	Domus 479, outubro/1969	109
<b>84</b>	Renzo Piano: B&B Italia Offices Building, 1971-73	A+U, 3/1989	109
<b>85</b>	Renzo Piano: B&B Italia Offices Building, 1971-73	A+U, 3/1989	109
<b>86</b>	Renzo Piano: Open Site – 1979	A+U, 3/1989	110
<b>87</b>	Renzo Piano: One-Family Homes – 1972/74	A+U, 3/1989	110
<b>88</b>	Renzo Piano: Arvedi Structural System – 1984, Cremona, Itália	A+U, 3/1989	111
<b>89</b>	Hans Hollein, High Rise Building – 1965	Arts & Architecture, 5/1966	112

<b>90</b>	Ron Herron: Walking City – 1964	Frampton, 1997	113
<b>91</b>	Renzo Piano e Richard Rogers, Centro Georges Pompidou (Beubourg), 1972/77	A+U, 3/1989	114
<b>92</b>	Centre Georges Pompidou – 1971/77 elementos estruturais – “nó”	A+U, 3/1989	115
<b>93</b>	Centre Georges Pompidou – 1971/77 elementos estruturais – “nó”	A+U, 3/1989	115
<b>94</b>	Foster Associates, sede da Honk Kong and Shanghai Banking Corporation, 1979/84	Frampton, 1997	117
<b>95</b>	Foster Associates, sede da Honk Kong and Shanghai Banking Corporation, 1979/84	Frampton, 1997	117
<b>96</b>	Renzo Piano: IBM Travelling Pavilion – 1982/4	A+U, 3/1989	118
<b>97</b>	Joseph Paxton, Cristal Palace – 1851	Pevsner, 1996	119
<b>98</b>	Bruno Taut, Galss House, 1914	Pevsner, 1996	120
<b>99</b>	Richard Buckminster Fuller, Exposição Universal de Montreal – 1967	Argan, 1993	120
<b>100</b>	Renzo Piano, IBM Travellin Pavilion – vistas externas da estrutura	A+U, 3/1989	120
<b>101</b>	Renzo Piano, IBM Travellin Pavilion – vistas externas da estrutura	A+U, 3/1989	120
<b>102</b>	Renzo Piano, protótipo – 1964	Domus 448, março/1967	121
<b>103</b>	Renzo Piano, confecção de protótipos para o pavilhão IBM	T&A 350, nov/83	122
<b>104</b>	Renzo Piano, confecção de protótipos para o pavilhão IBM	T&A 350, nov/83	122
<b>105</b>	Renzo Piano, B&B Italia Offices Building – 1971/73	A+U, 3/1989	123
<b>106</b>	Renzo Piano, Office Workshop – 1968/69	A+U, 3/1989	124
<b>107</b>	Renzo Piano, Open Site – 1979	A+U, 3/1989	124
<b>108</b>	Renzo Piano, Arvedi Structural System – 1984	A+U, 3/1989	124
<b>109</b>	Renzo Piano, Arvedi Structural System – 1984	A+U, 3/1989	124
<b>110</b>	Renzo Piano, Cocurso para o Jules Verne Leisure Park – 1986	A+U, 3/1989	125
<b>111</b>	Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion	A+U, 3/1989	125
<b>112</b>	Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion	A+U, 3/1989	126
<b>113</b>	Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion	GA 11/1984	127
<b>114</b>	Renzo Piano, IBM Tzavelling Pavilion	A+U, 3/1989	127
<b>115</b>	Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion	GA 11/1984	127
<b>116</b>	Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion	GA 11/1984	127
<b>117</b>	Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion – 1982/84. Seção da fachada onde ainda se utilizava o primeiro modelo de conector	T&A 350, nov/83	128
<b>118</b>	Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion – 1982/84. Exterior do edifício.	A+U, 3/1989	128
<b>119</b>	Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion – 1982/84: protótipo	T&A 350, nov/83	129
<b>120</b>	Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion – 1982/84: protótipo	T&A 350, nov/83	129

## RESUMO

x

Este trabalho trata de sistemas industrializados de estruturas espaciais e a arquitetura decorrente de sua utilização, aprofundando-se no estudo do nó como produto industrial e suas características de **projeto/design**. Para isso, estuda os fatores intervenientes em sua elaboração: o crescimento da indústria e sua intervenção nas técnicas construtivas, o progresso tecnológico e a ênfase dada às estruturas no projeto arquitetônico nos séculos XIX e XX; as relações estabelecidas entre arquitetura e desenho do produto. São utilizados no estudo os conceitos de técnica, tecnologia, desenho industrial, pré-fabricação, industrialização das construções. Estuda os parâmetros que definem as estruturas espaciais e os sistemas existentes, com especial atenção ao sistema MERO, parâmetro para comparação com sistemas subseqüentes; aponta elementos para a compreensão do caso brasileiro. Caracteriza a importância do design do nó na definição formal das estruturas espaciais e das possibilidades de concepção arquitetônica decorrentes de sua utilização.

## **ABSTRACT**

xi

This research is about industrialized systems of space structures and the architecture due to its use, and makes a profound study of the connector as an industrial product and its design characteristics. It is surveyed the parameters that define the space trusses and the existent systems, with special attention to the MERO system, parameter for comparison with subsequent systems; used for understanding the Brazilian case. It is characterized by the importance of the connexion design in the space structures shape and the current possibilities of architectural conception of its use. To aim this, it is studied the intervening factors in connexion design: the growth of the industry and its intervention in the constructive techniques, the technological progress and the emphasis given to the structures in the architectural design in XIX and XX centuries; the relationships between architecture and product's design.

## INTRODUÇÃO

1

No século XIX, sob a influência do progresso da ciência, dos avanços tecnológicos, da Revolução Industrial, grandes mudanças ocorrem na concepção dos edifícios. Métodos industriais adentram a prática de projetistas e construtores, alterando os conceitos do que se entendia por “construir”. A utilização do ferro e depois do aço incentiva, juntamente à sofisticação dos processos da indústria, a pesquisa de formas estruturais que vençam vãos progressivamente maiores, com menor emprego de material, tornando as estruturas cada vez mais elegantes. Descobre-se na armação do edifício, na estrutura de “esqueleto”, o sentido da construção da era industrial.

Os arquitetos demoram-se a notar as possibilidades dos materiais, ferro e aço. As propostas mais significativas partem da engenharia, com o despojamento de seus edifícios utilitários. A necessidade de uma nova linguagem arquitetônica

passa a ser notada quando a engenharia invade a produção de edifícios simbólicos, e o maior exemplo é a torre de 300 metros construída por Eiffel para a Exposição Universal de 1889, comemorativa dos 100 anos da queda da Bastilha.

Adota-se a estrutura de esqueleto cada vez mais intensamente ao longo do século XIX: membros lineares, esbeltos, responsáveis pela estruturação dos fechamentos, das massas não resistentes do edifício.

Tal processo adentra o século XIX e vai influenciar o pensamento técnico da arquitetura do Movimento Moderno até os nossos dias, não somente com os materiais metálicos mas também com o concreto armado, que torna-se cada vez mais esbelto com o desenvolvimento dos cálculos e dos materiais, especialmente o aço de suas armações.

Concomitantemente desenvolvem-se os processos industriais. O taylorismo e o fordismo despertam nos arquitetos a necessidade de produzir edificações em série, de forma mecanizada. Voltam-se para os materiais (ferro e aço) e passam a usufruir da indústria, da energia e da mudança nos procedimentos. Desde a emblemática proposta de 1851, do Crystal Palace de Paxton, tem-se a produção em série de elementos em fábrica (**pré-fabricação**), levados ao canteiro para que seja efetuada a **montagem** do edifício. Tal procedimento passa a exigir acuramento nas formas de unir as peças, as partes, os materiais.

2

Este trabalho dedica-se a estudar uma forma específica de juntar as partes de uma estrutura. As estruturas, como visto, vão se tornando cada vez mais leves e, em 1907, surge um tipo estrutural cujo princípio está na substituição das grandes quantidades de material por uma grande quantidade de linhas de distribuição de forças, em três dimensões. Tal tipo recebeu o nome de **estrutura espacial** (ou também, *treliça espacial*, *space truss*). As linhas de força se distribuem através de elementos metálicos lineares, esbeltos, as barras, que são unidas por elementos de ligação encarregados de transmitir as forças de uma barra para outra. Recebem o nome de **nós**.

A responsabilidade dos nós transcende suas funções estruturais. São os nós que vão determinar a forma da estrutura e, portanto, a configuração da forma arquitetônica: “a estrutura (resistente) como princípio e ordem imanente, se realiza por

meio da construção, mas é o *arquitetônico* o que faz visível a estrutura e a construção e lhe confere uma expressão artística”.<sup>1</sup>

Este trabalho trata de sistemas industrializados de estruturas espaciais e a produção arquitetônica decorrente de sua utilização, aprofundando-se no estudo do nó como produto industrial e suas características de projeto/design.

O nó, nos sistemas de estruturas espaciais industrializados, materializa os princípios da produção industrial ao mesmo tempo que permite incorporar ao projeto um sentido de contemporaneidade. Faz a conexão entre partes e materiais. É o artefato estrutural e expressivo fundamental.

“Estruturas espaciais são exemplos típicos de estruturas tipo esqueleto, que consistem, em regra, de um grande número de unidades modulares, pré-fabricadas, freqüentemente de tamanho e forma padronizados, que combinam em uma estrutura tridimensional leve mas muito rígida”.<sup>2</sup>

Z.S. Makowski, um dos maiores estudiosos de estruturas espaciais, determina, com a afirmação acima, o campo de estudo e o método de abordagem e organização deste trabalho. Em primeiro lugar, são estruturas pré-fabricadas, razão pela qual procura-se compreender industrialização, tecnologia, design, etc. Em segundo lugar, são do tipo esqueleto: faz-se necessário compreender o desenvolvimento e as transformações ocorridas na forma de estruturar edifícios.

3

O método de abordagem da temática se reflete na organização dos capítulos, como segue:

O **Capítulo 1** fornece o trajeto histórico sobre as mudanças técnicas e tecnológicas ocorridas na arquitetura desde o século XIX e ao longo do século XX. Esse trajeto compreende os fatos que influenciaram as modificações na arquitetura

---

<sup>1</sup> Sekler (1965) apud Margarit, J., Buxadé, C. *Las mallas espaciales en arquitectura*. Barcelona, Gili, 1972

<sup>2</sup> Makowski, Z. S., ed. *Analysis, design and construction of double-layer grids*. Londres, Applied Science, 1981.  
“Space structures are typical examples of skeleton frameworks, as a rule consisting of a large number of simple modular, prefabricated units, often of standard size and shape, which combine into a light, but very rigid, three-dimensional structure”.

e suas relações com a indústria e a sociedade industrial e o surgimento do desenho industrial. Dentre esses fatos estão o desenvolvimento e o crescimento da indústria, as mudanças nas técnicas construtivas, o progresso tecnológico, a ênfase dada às estruturas no projeto arquitetônico, as relações estabelecidas entre arquitetura e desenho do produto. São definidos alguns conceitos utilizados no estudo: técnica, tecnologia, industrialização das construções, pré-fabricação, racionalização, sistemas construtivos (fechados, abertos, flexíveis), coordenação modular e design (desenho industrial).

O **Capítulo 2** discorre sobre a forma pela qual as alterações no campo estrutural alteraram a concepção arquitetônica ao longo do período estudado, definindo o que se entende por estrutura, a visão moderna de estrutura e as relações existentes entre sua concepção e o resultado sobre a arquitetura, para que se compreenda o contexto de surgimento das estruturas espaciais. Pretende-se descrever os elementos que, historicamente, contribuíram na formação de um campo para que se desenvolvessem tais estruturas e sua aplicação na arquitetura.

O **Capítulo 3** descreve as características que definem as estruturas espaciais e os sistemas existentes, levantando um panorama dos principais produtos. Define o objeto propriamente dito – o nó – relacionando-o com a atividade de design. Estuda suas características em relação ao projeto do produto, industrialização, construtibilidade. Caracteriza a importância do design do nó na definição formal das estruturas espaciais e das possibilidades de concepção arquitetônica decorrentes de sua utilização. Relaciona sistemas comerciais de estrutura espacial apresentando algumas de suas propriedades, iniciando pelo sistema MERO. É utilizado como parâmetro para comparação com sistemas subsequentes, não somente por ter sido o primeiro sistema a ser produzido em série e disponibilizado no mercado, mas por ser considerado um dos mais eficientes e difundidos em todo o mundo e permitir a análise de diversas questões pertinentes ao desenho do produto. São apresentadas imagens de obras arquitetônicas elaboradas em estruturas espaciais. Ao final do capítulo, estuda-se, brevemente, o caso brasileiro, mostrando exemplos de sistemas de estruturas espaciais disponíveis no mercado e casos que tiveram sua produção interrompida.

No **Capítulo 4**, faz-se um estudo de caso baseado na obra do arquiteto Renzo Piano como exemplo de atuação projetual. Dedicar parte significativa de sua

obra ao desenvolvimento do desenho de sistemas espaciais e da especial atenção despendida com o detalhe do nó.

Seguem-se as **Considerações Finais** e a **Bibliografia** do trabalho.

Convém descrever algumas convenções adotadas.

- Optou-se por traduzir os textos disponíveis em outras línguas, apresentando os originais em nota de rodapé.
- Por considerar relevantes as datas das edições originais para a compreensão do momento em que foram publicadas, tais datas, quando disponíveis, são apresentadas entre parênteses nas notas de rodapé.

## **ARQUITETURA, INDÚSTRIA, DESIGN**

### **campo de desenvolvimento da temática**

# **2**

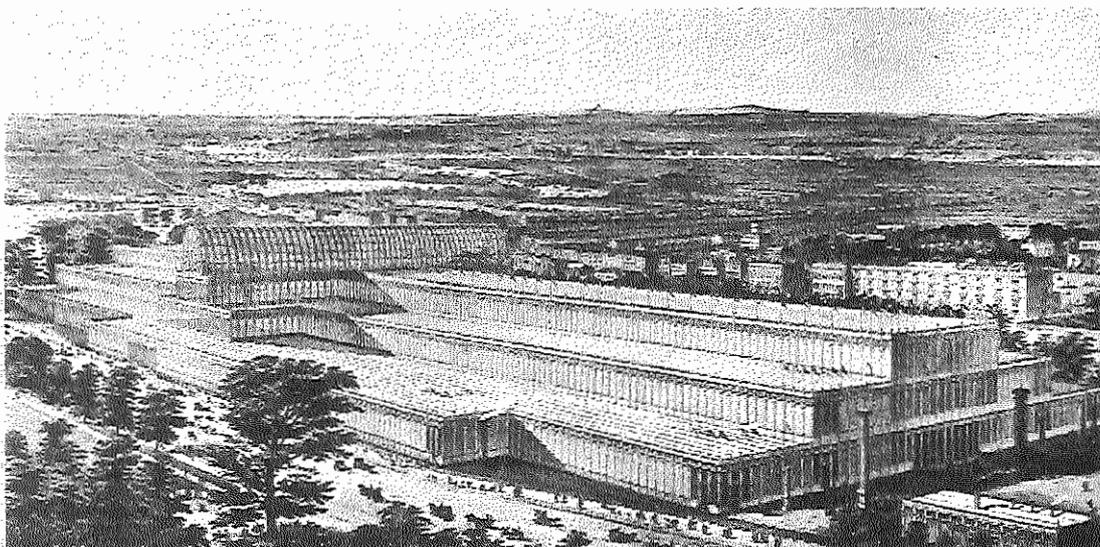
Este capítulo apresenta um quadro conceitual, acontecimentos que conformam a base para o desenvolvimento desta pesquisa.

As idéias que direcionam o desenvolvimento desta pesquisa aparecem com consistência pela primeira vez no trabalho do construtor Joseph Paxton:

“Quando Joseph Paxton (1803-65), inicialmente construtor de estufas, projeta e realiza o Palácio de Cristal para a Exposição Universal de Londres de 1851 (a primeira entre as várias feiras mundiais consagradas aos faustos do progresso industrial), ele não inventa uma nova técnica, mas instaura um novo método de projeto e execução. A novidade é o emprego de elementos pré-fabricados

(segmentos metálicos e lâminas de vidro), produzidos em série e levados aos canteiros de obras prontos para serem utilizados”.<sup>1</sup>

Com esse edifício surgem os princípios de pré-fabricação e industrialização, e o “projeto” a que se refere Argan nos remete ao projeto do produto que posteriormente virá a definir a produção em massa, comercial, de elementos construtivos estandardizados – o desenho industrial. Esse projeto é a principal referência, para diversos historiadores da arquitetura moderna, para o progresso do raciocínio técnico em arquitetura em finais do século XIX apontando à industrialização característica ao século XX.



<sup>1</sup> Joseph Paxton: Palácio de Cristal – 1851  
Kohlmaier, Georg. *Houses of glass*. Cambridge, MITPress, 1981

As raízes desse raciocínio retrocedem ao século XVIII com a Revolução Industrial, com a introdução de novos elementos marcados pela produção industrial até então desconhecidos, na história da construção, como as construções de engenharia, estações de trem, pontes, etc.

Benevolo propõe um retorno à segunda metade do século XVIII em sua recomposição da história da arquitetura moderna, e afirma ser necessário “examinar diretamente muitos fatos técnicos, sociais, econômicos que, de 1750 em diante, sofrem rápida mutação, mesmo que inicialmente não fique evidenciada, de

---

<sup>1</sup> Argan, G.C. *Arte Moderna*. São Paulo, Companhia das Letras, 1993 (1988)

imediatamente, sua conexão com a arquitetura”.<sup>2</sup> Benevolo se pergunta em que momento começa a arquitetura moderna. Uma das respostas que dá é que a “arquitetura moderna nasce das modificações técnicas, sociais e culturais relacionadas com a Revolução Industrial”.

A partir da Revolução Industrial o progresso técnico e a ideologia da máquina passam a ser determinantes na idéia de técnica que estará presente na arquitetura modernista e em suas utopias. O desenvolvimento da siderurgia abre novas possibilidades de projeto:

“Para um universo profissional dominado pela componente estética, os avanços na área técnica e a própria racionalidade processual dos engenheiros, empurraram a arquitetura para uma revisão de seus conceitos historicamente sedimentados e o impulso que já se fizera notar com os tratadistas do século XVIII, ganharia um corpo definitivo não apenas na produção das grandes estruturas de ferro do século XIX, mas também por significativos trabalhos teóricos”.<sup>3</sup>

Recorre-se constantemente à técnica e também à tecnologia e seu progresso como fomentadores das transformações ocorridas nas formas de projetar e construir. Por isso convém abordar algumas definições do que se entende por técnica e tecnologia.

8

## TÉCNICA E TECNOLOGIA

O *Diccionario de Filosofia* de Ferrater Mora traz a seguinte definição do termo técnica:

“Os gregos usavam o termo *τεχνη* (com freqüência traduzido por *ars*, ‘arte’ e que é a raiz etimológica de ‘técnica’), para designar uma habilidade mediante a qual se faz algo – geralmente se transforma uma realidade natural em uma realidade artificial. A *téchne* não é, contudo, qualquer habilidade, senão aquela que segue determinadas regras. Por isso *téchne* significa também ‘ofício’... Na Idade

---

<sup>2</sup> Benevolo, L. *História da arquitetura moderna*. São Paulo, Perspectiva, 1994

<sup>3</sup> Spadoni, F. *Quase Contemporâneo*. São Paulo, FAU, 1997 – Dissertação de Mestrado

Média, era freqüente usar o termo *ars* no sentido da *τεχνη* grega. Mas pouco a pouco destacou-se a chamada *ars mechanica* como o que será propriamente a técnica”.<sup>4</sup>

Heidegger afirma que “à natureza da técnica pertencem a fabricação de utensílios, aparelhos e máquinas; pertencem o produto e sua própria utilização; pertencem as necessidades e os fins aos quais servem. Todos estes dispositivos são a técnica. Ela mesma é um dispositivo, dito em latim, um *instrumentum*”.<sup>5</sup> O filósofo associa a idéia de técnica ao termo *επισημη*; juntos se referem ao ato de conhecer enquanto desocultar: “o decisivo de *tecné* não consiste, pois, no fazer e manipular nem no emprego dos meios, senão no referido desocultar. Enquanto tal, não como fabricar, a técnica é um pro-duzir”. A técnica moderna, para Heidegger, também é um desocultar, mas de natureza distinta. O desocultar a que se refere funda-se em um provocar que exige da natureza fornecer energia a ser extraída e armazenada: “o desocultar que domina por completo a técnica moderna tem o caráter de ‘fazer’ no sentido de provocação”.<sup>6</sup> O desocultar se multiplica em desocultares: abrir, transformar, armazenar, distribuir, comutar. A técnica moderna provoca uma **potencialização** das operações.

---

<sup>4</sup> Ferrater Mora, J. *Diccionario de Filosofia*. Madrid, Alianza Editorial, 1984. “Los griegos usaban el término *τεχνη* (con frecuencia traducido por *ars*, ‘arte’ y que es la raíz etimológica de ‘técnica’), para designar una habilidad mediante la cual se hace algo – generalmente se transforma una realidad natural en una realidad ‘artificial’ –. La *téchne* no es, sin embargo, cualquier habilidad, sino una que sigue ciertas reglas. Por eso *téchne* significa también “oficio” ... En la Edad Media era frecuente usar el término *ars* en el sentido de la *τεχνη* griega. Pero poco a poco se destacó la llamada *ars mechanica* como lo que será luego propiamente la ‘técnica’”

<sup>5</sup> Heidegger, M. *La Pregunta por la Técnica*. Conferência pronunciada em Munique em novembro de 1953: “A lo que la técnica es, le pertenecen la fabricación e utilización de útiles, aparatos y máquinas; le pertenecen lo fabricado e utilizado mismos; le pertenecen las necesidades y fines a los que sirven. El todo de estos dispositivos es la técnica. Ella misma es un dispositivo, dicho en latín, un *instrumentum*” ... “...lo decisivo de *tecné* no consiste pues ... en el hacer y manipular ni en el empleo de medios, sino en el referido desocultar. En cuanto tal, no como fabricar, la *tecné* es un pro-ducir”

<sup>6</sup> “El desocultar que domina por completo la técnica moderna tiene el carácter del poner en el sentido de la provocación”.

Dorfles entende o termo técnica:

“...na sua acepção mais lata, no seu significado mais amplo; o de um domínio do homem sobre a natureza, ou seja, o de um 'esquema operativo', de um método, inventado ou encontrado para a realização de uma atividade qualquer, como também de um sistema específico aplicável a uma determinada ação e de maneira a conferir a tal ação uma precisão e uma especialização que esta não tinha antes da invenção da técnica”.<sup>7</sup>

Quando tratamos da origem da arquitetura modernista e contemporânea em relação à técnica moderna, nos remetemos quase imediatamente – e isso é notável em vários autores – às obras mecânicas do período da Revolução Industrial e em especial do século XIX. Devemos nos lembrar que são parte de um processo contínuo que se desenrola desde o Renascimento, e que envolve a mudança da noção de ciência.

O filósofo Paolo Rossi localiza entre os anos 1400 e 1700 a intensificação da “discussão sobre as artes mecânicas”:

“Nas obras dos artistas e experimentadores do século XV, nos livros sobre máquinas e nos tratados dos engenheiros e técnicos do século XVI, ganha corpo uma nova apreciação sobre o trabalho, a função do saber técnico, o significado dos processos artificiais de alteração e transformação da natureza”.<sup>8</sup>

10

**Cabe ressaltar a importância de Brunelleschi:**

“Com Brunelleschi, a arquitetura passa de uma fase de tecnicismo empírico para uma fase de especulação matemática; o construtor do Renascimento é um intelectual, o da Idade Média era um artesão”.<sup>9</sup>

A partir de Brunelleschi tem-se a introdução da prática projetual no processo de produção de edifícios.

---

<sup>7</sup> Dorfles, G. *Novos Ritos, novos mitos*. Lisboa, Ed. 70, s.d.

<sup>8</sup> Rossi, P. *Os filósofos e as máquinas*. São Paulo, Companhia das Letras, 1989

<sup>9</sup> idem

Rossi vê nesse período a atribuição de um novo valor ao saber técnico pelos filósofos: “alguns dos procedimentos utilizados pelos técnicos e artesãos para modificar e alterar a natureza concorrem para o conhecimento efetivo da realidade natural...”. Em substituição a uma “concepção da ciência como desinteressada contemplação da verdade”, assume-se que “o saber tem caráter público e cooperativo, e apresenta-se como uma série de contribuições individuais, organizadas sob a forma de um discurso sistemático e oferecidas com vistas a um êxito geral que deve ser patrimônio de todos os homens”. Técnicos e artesãos, trazendo para si a responsabilidade de teorizar, atuam decisivamente na formação da noção de progresso científico.

“O senso da perfectibilidade posterior de suas obras, a afirmação da necessidade de cooperação intelectual e da progressividade de um saber que cresce sobre si mesmo ao longo do tempo, enriquecendo-se com a obra conjunta de muitos, o reconhecimento dos resultados sempre novos gerados pelas artes, levaram, por outro lado, a indicar a limitação do horizonte cultural dos antigos e a ressaltar o caráter provisório e histórico das suas descobertas e verdades”.<sup>10</sup>

Em resumo: em um primeiro momento, o saber prático é o instrumento para a formulação teórica. Posteriormente, a teoria passa a dar suporte a prática:

“As conquistas da ciência e da técnica são o testemunho vivo da superioridade dos modernos; elas oferecem a prova mais evidente do caráter progressivo do conhecimento”.<sup>11</sup>

O conhecimento, a ciência, fornecem os subsídios para compor o que chamamos de tecnologia, que na construção é evidenciada na introdução dos cálculos, do estudo de e desenvolvimento de materiais. O tema “tecnologia” não se esgota neste estudo; porém, é de fundamental importância compreender seu significado/ Para tanto, optou-se por utilizar de estudos e conclusões do professor Ruy Gama em seu “*A tecnologia e o trabalho na história*”.<sup>12</sup> O significado de “tecnologia”, segundo Ruy Gama, é vítima de um “cipoal semântico”, de incongruências entre autores de diversas áreas de conhecimento. Para este

---

<sup>10</sup> idem

<sup>11</sup> idem

<sup>12</sup> Gama, R. *A tecnologia e o trabalho na história*. São Paulo, Nobel EdUSP, 1987

estudo, cabe entender que a tecnologia envolve relações entre conhecimento, saber, ciência, forças produtivas. Gama destaca a visão de Milton Vargas:

“... entender-se-á por tecnologia o estudo ou tratado das aplicações, teorias, experiências e conclusões das ciências ao conhecimento dos materiais e processos utilizados pelas técnicas. É verdade que, no mundo moderno, essa é também a função da engenharia, da arquitetura e da agronomia. Porém, nestas últimas, além das aplicações científicas, comparece também a arte de construir obras e fabricar produto, com suas particularidades individuais e circunstâncias próprias. Há, nessas últimas atividades, portanto, uma intencionalidade e valorização de uma determinada obra ou um determinado produto, ausente na tecnologia. Por outro lado, a tecnologia difere da técnica, pois essa última é um conhecimento prático que não envolve, necessariamente, teoria alguma. A técnica é tão antiga quanto a humanidade; porém a tecnologia só veio a existir depois do estabelecimento da ciência moderna, no século XVII, quando se percebeu que tudo o que o homem construía era regido por leis científicas.”<sup>13</sup>

Gama firma-se nos seguintes conceitos:

*Técnica*: conjunto de regras práticas para fazer coisas determinadas, envolvendo a habilidade do executor e transmitidas, verbalmente, pelo exemplo, no uso das mãos, dos instrumentos e ferramentas e das máquinas. Alarga-se freqüentemente o conceito para nele incluir o conjunto dos processos de uma ciência, arte ou ofício, para obtenção de um resultado determinado com o melhor rendimento possível.

*Tecnologia*: estudo e conhecimento científico das operações técnicas ou da técnica. Compreende o estudo sistemático dos instrumentos, das ferramentas e das máquinas empregadas nos diversos ramos da técnica, dos gestos e dos tempos de trabalho e dos custos, dos materiais e da energia empregada. A tecnologia implica na *aplicação dos métodos* das ciências físicas e naturais e ... também na comunicação desses conhecimentos pelo ensino técnico”.<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> Vargas, M. apud Gama, R., op. cit.

<sup>14</sup> Gama, R., op. cit.

Gama conclui sua visão de tecnologia pela negação de afirmações de seus autores de referência e que nos serve de resumo a amparar o entendimento do assunto para a presente pesquisa:

“A partir do que foi exposto poderia me atrever a fazer algumas negações, a enumerar o que a tecnologia não é (ou não é exclusivamente).

1. A tecnologia não é um conjunto de técnicas ou de todas as técnicas, e nem é a sofisticação da técnica. A passagem da técnica para a tecnologia (e esta não exclui a primeira) não é questão de gradação ou desenvolvimento interno ao campo das técnicas: é questão que se refere à formação sócio-econômica em que se realiza.
2. A tecnologia não é a 'maneira como os homens fazem as coisas' (L. White Jr.) porque, em primeiro lugar, não se distingue desse modo *técnica* de *tecnologia* e, em segundo lugar, há muitas coisas que os homens fazem que não são técnicas. Pela mesma razão, a afirmativa de R. J. Forbes de que a 'tecnologia é tão antiga quanto o homem' carece de sentido histórico.
3. Da mesma forma, a tecnologia não é o meio pelo qual o homem domina a natureza e nem 'o meio pelo qual os homens extraem de seu *habitat* os alimentos, o abrigo, as roupas e as ferramentas de que necessitam para sobreviver' (Herskovitz). Caberia aqui substituir a palavra *tecnologia* por *trabalho*...
4. A tecnologia não é o conjunto de ferramentas, máquinas, aparelhos ou dispositivos quer mecânicos quer eletrônicos, quer manuais quer automáticos.
5. A tecnologia não é conjunto de invenções ou qualquer uma delas individualmente. O avião não é uma tecnologia, como não o é o rádio, o radar ou a televisão, muito embora seja esta a acepção mais difundida em *marketing*.
6. A tecnologia não se confunde com os sistemas de marcas e patentes e com os 'mecanismos' de venda, cessão ou transferência dos direitos inerentes a esses privilégios.
7. A tecnologia não é ciência aplicada por que é, ela mesma, ciência.

8. Apesar da participação crescente da tecnologia na produção da mercadoria, ela não é mercadoria...

9. A tecnologia não se confunde com o *modo de produção capitalista*. Embora com ele tenha vínculos de origem, não se pode amarrá-la ao futuro do capitalismo.

10. As relações entre tecnologia e o poder são relações históricas, na medida em que o poder é uma categoria histórica; mas a transcendência da técnica decorre de sua vinculação com o processo de trabalho, que é 'condição natural eterna da vida humana'".<sup>15</sup>

Gama cita ainda o filósofo mexicano Elio de Gortari, que afirma:

"De maneira estrita, a tecnologia é a ciência que estuda as técnicas. A investigação tecnológica compreende as mesmas fases que qualquer outra investigação científica, a saber: seleção do problema, reunião dos conhecimentos já adquiridos sobre o assunto, formulação de hipóteses, planejamento e execução de experiências, avaliação dos resultados..."<sup>16</sup>

Segundo Vargas, ainda enfatizando a tecnologia, um processo de modernização levou ao "desenvolvimento conjugado da construção civil e da tecnologia, como atividades produtivas do país (no caso específico do Brasil), ocorrido a partir da segunda metade do século passado". Tal modernização "sempre busca alcançar, por um lado, menor custo por elemento produzido e uma ampliação do número de elementos produzidos na unidade de tempo, e, por outro, controle racional das unidades produtivas, com o intuito de obter-se a maior homogeneidade possível entre essas unidades."

14

---

<sup>15</sup> Gama, R., op. cit.

<sup>16</sup> Gortari, E. apud Gama, op. cit.

## INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

Transformações nas técnicas construtivas, ciências de materiais, o progresso tecnológico contribuíram para desencadear o processo de industrialização da construção, que por sua vez originou transformações nas práticas produtivas do espaço construído, sob a incidência de inovações tecnológicas. Esta seção tem como objetivo discorrer sobre tais transformações a fim de suscitar considerações a respeito do debate atual da arquitetura e no caminho a ser seguido diante da evolução da Industrialização da Construção.

A discussão acerca da industrialização das construções remonta ao início do século, quando a produção em série começa a ser viabilizada no setor da construção civil. Contudo, a discussão se tornará mais intensa nos anos 50, na Europa do pós-guerra, com a necessidade de se produzir em escalas maiores; no Brasil, esta discussão vai acontecer na década de 60 – efetivamente na construção de conjuntos habitacionais. Hoje, esta prática avança no sentido de atribuir flexibilidade ao processo industrial de produção na busca de diversidade do objeto arquitetônico.

A primeira Revolução Industrial deu-se com a ruptura do processo de trabalho do artesão, com a introdução da energia (da máquina) que fez com que houvesse uma concentração de esforços, onde todos os trabalhadores estivessem trabalhando num mesmo lugar e no ritmo da máquina. Na construção civil, a revolução tecnológica significou a “possibilidade” de passar da manufatura (canteiro fixo) para a industrialização (produção em usina e montagem em canteiro). O canteiro se torna um local de montagem.

As transformações pelas quais passou a produção do objeto arquitetônico decorreram, pois, de uma confrontação entre, de um lado, os processos de artesanato cuja produção é manual e individualizada e, por outro, os processos de produção industrial, padronizado e em série; na mudança da técnica construtiva. As novas técnicas de industrialização estavam na base dessas transformações e, através delas, fabricava-se, principalmente, o ferro e o cimento, materiais que protagonizam as mudanças na concepção estrutural do edifício (a ser discutido no capítulo 2).

Argan enumera as condições que favoreceram o uso do cimento e do ferro como materiais de construção:

“1) a produção desses materiais em grande quantidade e a baixo custo; 2) a possibilidade de transportá-los facilmente, também sob a forma de elementos pré-fabricados; 3) suas qualidades intrínsecas de materiais de sustentação e a possibilidade de cobrir amplos espaços com uma área mínima de suportes; 4) a economia no tempo e custo da construção; 5) o progresso da ciência das construções e do cálculo matemático das cargas e empuxos; 6) a formação de escolas especializadas para engenheiros.”<sup>17</sup>

O uso do ferro, ou “a vitória dos técnicos”, como diz Argan, alcança seu apogeu com a construção da Torre do engenheiro Eiffel, em 1889, uma construção de caráter técnico mas com valor representativo: sua expressão é a estrutura e esta, afinada com a sensibilidade do presente histórico, visava a imagem de futuro para uma Paris moderna. Concretiza-se o que Argan chama de “ciência das construções”:

“A construção em ferro e cimento é sem dúvida a causa principal do rápido processo de industrialização da arquitetura, através de uma outra metodologia do projeto e uma nova organização do canteiro de obras”.<sup>18</sup>

No início da industrialização, a arquitetura, na tentativa de conciliar sua prática com o modo de produção industrial, imitava, com a máquina, o trabalho artesanal e as formas tradicionais que lhe eram peculiares, como por exemplo, executar uma coluna grega em ferro. No Brasil, esses elementos estão fortemente presentes na arquitetura do século XIX: “não somente eram importadas colunas ocas e vigas em ferro fundido ou forjado, mas, outrossim, peças de acabamento e ornamentos para jardins, como chafarizes, bancos e gradis imitando árvores”.<sup>19</sup>

---

<sup>17</sup> Argan, G. C., op. cit.

<sup>18</sup> idem

<sup>19</sup> Ferro, Sérgio. *O canteiro e o desenho*. São Paulo, Projeto, 1979

Num primeiro momento a história da arquitetura moderna confunde-se com a própria história da industrialização e, mais precisamente, com a história do progresso tecnológico:

“Foram as novas exigências por melhores transportes, pontes e canais, por edifícios industriais maiores e mais resistentes, por edifícios não combustíveis, por edifícios públicos, com as estações de estrada de ferro, portos e armazéns e os edifícios para as exposições universais, que caracterizaram o fim do século XIX, a solicitar os novos materiais, como o ferro fundido e o vidro, e a dar forma a uma nova linguagem que, hoje reconhecemos, estão na origem da arquitetura moderna”.<sup>20</sup>

É somente com a arquitetura desse período que se vai procurar uma nova linguagem condizente com as novos meios de produção.

No Movimento Moderno, a idéia da técnica mecânica permeia todas as propostas. O progresso industrial, principalmente sua aceleração durante a Primeira Guerra Mundial, provoca uma invasão de métodos e materiais que precisam de experimentação, pelo desconhecimento de seu comportamento com relação ao uso em edificações. No que concerne à ênfase técnica, sobressai o experimentalismo. No entanto, apesar da evidência da técnica, Reyner Banham recupera características das obras dos mestres modernistas que acrescentam outros elementos ao projeto que não o deixa reduzido à componente técnica ou funcionalista.<sup>21</sup>

No período imediatamente após a Primeira Guerra Mundial, o problema é colocado em escala urbanística. Além dos aspectos funcionais, sociais e políticos

---

<sup>20</sup> Ferro, S., op. cit.

<sup>21</sup> Banham, R. *Teoria e projeto na primeira era da máquina*. São Paulo, Perspectiva, 1979 (1960) Banham traça características de dois projetos, o Pavilhão de Barcelona, de Mies, e a Ville Savoye, de Le Corbusier, recuperando referências e contradições em ambos os projetos: “Muito já se disse com a finalidade de demonstrar que nenhum critério único, tal como o Funcionalismo, servirá para explicar as formas e superfícies destes edifícios, e muito também já deveria ter sido dito a fim de sugerir o modo pelo qual eles abundam em associações e valores simbólicos que eram correntes em seu tempo. E ainda muito já se disse com o objetivo de demonstrar que eles chegaram extraordinariamente perto da realização da idéia geral de uma arquitetura da Era da Máquina, tal como era esta arquitetura sustentada por seus designers”

da cidade, há “um aspecto tecnológico: não só a tecnologia industrial substitui a técnica tradicional ou artesanal das construções, como também, se o problema da arquitetura é colocado como é necessariamente, em escala urbanista e, portanto, de construção civil em série, tal problema não pode ter outra solução fora da tecnologia industrial (...) Se o edifício é apenas uma unidade numa série, e a construção em série exige a maior utilização possível de elementos *pré-fabricados*, o processo que *industrializa* a produção de edifícios é o mesmo que transforma a arquitetura em urbanismo”.<sup>22</sup>

No modernismo temos a definição dos parâmetros do futuro desenvolvimento da produção industrializada em arquitetura, da standardização e da pré-fabricação. A escola de arquitetura e artes aplicadas mais importante da história da arquitetura, a Bauhaus, tinha a idéia de promover o trabalho artesanal com o trabalho fabril, de conciliar a produção em massa com a divisão do trabalho. No campo da arquitetura, procurou-se resgatar o trabalho do mestre, do artesão e ajustar a organização do processo de produção artesanal à organização racional do trabalho feito à máquina. A Bauhaus, em Weimar, Alemanha, foi fundada em 1919, por Walter Gropius e colocava o problema da contradição entre artesanato e indústria como antítese da produtividade da sociedade moderna: “A arte poderá contribuir para eliminar aquela contradição se souber tornar seus os meios da indústria, e passar ela também da fase histórica de artesanato à fase da indústria”<sup>23</sup>. Gropius, em uma circular dirigida aos mestres da Bauhaus, define suas diretrizes:

“O ensino dos ofícios pretende preparar o design para a produção em série. Partindo dos instrumentos mais simples e das tarefas menos complicadas, ele (o aprendiz da Bauhaus) vai aos poucos adquirindo a capacidade de dominar problemas mais complexos e trabalhar com máquinas, ao mesmo tempo em que se mantém em contato com todo o processo de produção, do começo ao fim. Por outro lado, o operário fabril nunca vai além do conhecimento de uma fase do processo. Portanto, a Bauhaus está conscientemente buscando contatos com empresas industriais existentes, com o objetivo de fomentar um estímulo mútuo”<sup>24</sup>

---

<sup>22</sup> Argan, G. C., op. cit.

<sup>23</sup> idem

<sup>24</sup> Gropius, Walter, apud Frampton, 1997

Gropius defendia a idéia da industrialização no processo de construção e a pré-fabricação de casas. A casa seria um produto da indústria concebida como o é com os demais produtos. Para Walter Gropius,

“a nova meta seria a produção industrial em larga escala de casas de moradia, que seriam fabricadas, não mais no canteiro de obra, mas dentro de fábricas especiais em partes isoladas passíveis de montagem”.<sup>25</sup>

Inseria-se a necessidade do desenho industrial no projeto arquitetônico, e uma metodologia própria da produção industrial relativizada com a arquitetura mas com uma estética própria (e uma tectônica industrial própria). Afirma o arquiteto:

“O remodelamento radical da organização conjunta da construção no sentido industrial é uma condição imperativa para uma solução moderna deste importante problema”.<sup>26</sup>

A sua postura era de otimismo em relação à industrialização das construções, quando diz ser

“um engano supor que a arquitetura será desprestigiada devido à industrialização da construção. Pelo contrário, a padronização dos elementos construtivos exercerá um efeito benéfico ao conferir um caráter unificado às novas habitações e bairros. Não há motivo para temer uma monotonia semelhante à dos subúrbios industriais ingleses, à condição de cumprir o requisito básico de normalizar somente os elementos construtivos, variando o aspecto exterior dos edifícios armados com ele”.<sup>27</sup>

Nesta época, foram realizados muitos congressos de arquitetura onde questões relativas à tipificação e à padronização, eram discutidas e iriam dar origem às tendências em direção à coordenação modular e ao design que caracterizam todo o Movimento Moderno.

Le Corbusier afirma, em 1930, que

---

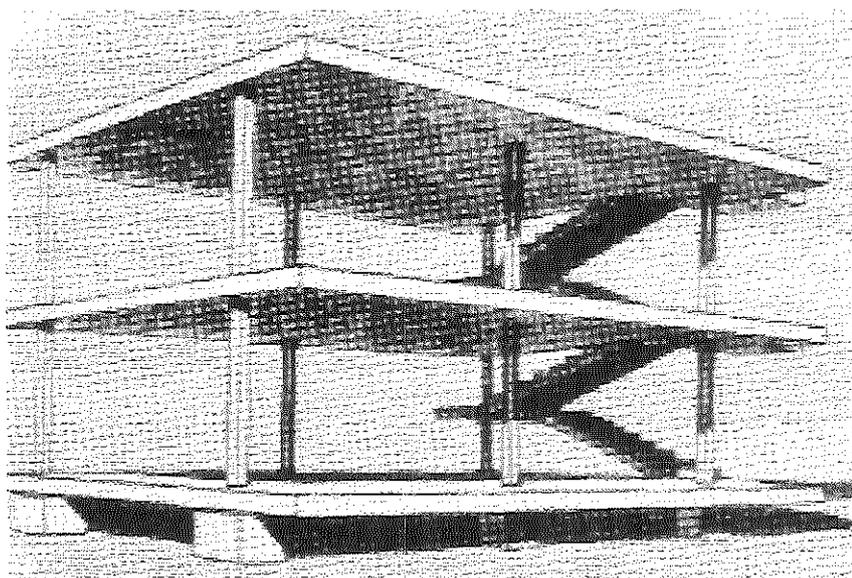
<sup>25</sup> Gropius, W. *Bauhaus: Nova arquitetura*. São Paulo. Perspectiva, 1994

<sup>26</sup> idem

<sup>27</sup> Ferro, S., op. cit.

“... se trata de definir e aplicar métodos claros e novos que permitam a realização de planos de habitação de grande utilidade, capazes de se adaptar de forma natural à estandardização e à industrialização”.<sup>28</sup>

A crença nas virtudes da técnica estabeleceu-se como o meio de atingir esses objetivos. Sua Maison Domino (1920) é concebida com elementos estandardizados, como proposta para reconstrução no primeiro pós-guerra; deve prevalecer a montagem sobre a construção. Nesse exemplo se manifesta a expressão da arquitetura e da forma de construir através de sua estrutura. A Maison Citrohan tem seu nome inspirado no nome do fabricante de automóveis, como sugestão aos industriais para se lançarem à fabricação de casas.



2 Le Corbusier,  
Maison Domino -  
1920  
Argan, 1993

20

Contudo, o que se pode observar é que a indústria, com a pré-fabricação massificada de produtos, encontrou melhor terreno em edifícios funcionais específicos como escolas, fábricas; pois havia condições favoráveis para tanto. Porém, na construção de habitações unifamiliares, não foi totalmente absorvida pois este setor possui peculiaridades que não permitiram o sucesso da industrialização. O grande problema apontado foi o emprego das técnicas tayloristas e fordistas (aplicadas com sucesso em outros ramos da indústria) sem

---

<sup>28</sup> Citado em Bruna, P. Subsídios para uma política de industrialização da construção no Brasil. In Revista Acrópole 380, dez. 1970

levar em consideração uma série de peculiaridades do setor edificações. A dificuldade da arquitetura em acompanhar a rapidez das transformações que a produção em série colocava para outros setores industriais, é compreensível uma vez que a sua prática é fiel a uma tradição, cujos processos de produção pouco se modificaram no decorrer dos tempos.

Após a Segunda Guerra Mundial houve um esforço comum nas nações destruídas para efetuar a reconstrução de forma rápida e eficiente, privilegiando edifícios públicos e de moradia multifamiliar. Devia-se abordar o problema diretamente através dos meios produtivos. A indústria seria responsável pela produção, e a pregação de Gropius finalmente seria materializada. Desenvolve-se mais intensamente o processo conhecido por “industrialização das construções”; nesse sentido, inúmeras pesquisas são realizadas na busca de soluções e sistemas para produção em série.

Como uma das conseqüências da industrialização, buscava-se, com o projeto (**desenho industrial**), a melhoria da qualidade física do produto, enquanto a arquitetura era reduzida a equações. A industrialização das construções, assim como a de qualquer outro produto, deveria corresponder a uma série de requisitos relativos e inerentes à indústria, o que reduziu a arquitetura a um segundo plano, ou a uma atividade-ofício de montagem de partes industrializadas.

21

A arquitetura passa a ser vista através de uma ótica produtiva; corre-se o risco de redução da arquitetura a um programa, um método, um fluxograma. “Porque o programa não se configura como valor?”, pergunta-se Argan:

“Pelo fato do programa não ser o resultado de uma crítica; o existente poderia ser um projeto, mas é apenas um esquema de um desenvolvimento quase automático de uma tecnologia que é agora capaz de projetar, de projetar-se a si própria”.

O programa é conjuntural, social e funcionalista. Argan prossegue:

“O projeto não pode ser tão simplesmente um exame dos dados objetivos e um cálculo das resistências dos materiais ou do preço dos materiais em relação a

disponibilidade financeira, mas um fator de intervenção ativa na realidade para resolver as contradições existentes”.<sup>29</sup>

Vários críticos se colocam contra a valorização da indústria como definidora da arquitetura. Para Mumford:

“Desde o século XVI que o homem moderno segue a máquina como modelo. A despeito de compunções sentimentais de vária ordem, expressas no movimento romântico, no nacionalismo, na reativação da teologia cristã, o homem ocidental tem-se esforçado por viver num mundo não-histórico e impessoal de matéria e energia, num mundo sem valores exceto o valor das quantidades; um mundo de seqüências causais e não propósitos humanos”.<sup>30</sup>

Segundo o diagnóstico de Philippe Panerai, sobre os conjuntos habitacionais decorrentes das políticas de industrialização das construções:

“Podemos verificar em um país como a França as conseqüências sociais da política dos grandes conjuntos dos anos 60, pela qual se concentram em um espaço estereotipado as populações mais pobres e vulneráveis, menos integradas”.<sup>31</sup>

22

Para Dorfles:

“continua a discorrer-se sobre as inspiradas realizações da Bauhaus, da arquitetura racional, quando os habitantes das cidades são já, irremediavelmente, vítimas daquela triste construção em série que os enquadra em anônimos falanstérios, construídos segundo cânones inicialmente inspirados”.<sup>32</sup>

Para Mumford, já no início da década de 50, essas idéias começam a ser rebatidas:

“Certamente, o mito maquinista moderno, que expressava a crença absoluta no progresso social favorecido pelo novo mundo técnico, não resistiria às transformações que se operaram no seio da civilização, e a justificativa social deste

---

<sup>29</sup> Argan, G.C. *A história na metodologia de projeto*. In revista *Caramelo* 6, São Paulo, GFAU-USP 1993

<sup>30</sup> Mumford, L. *Arte & técnica*. São Paulo, Martins Fontes, s.d. (1952)

<sup>31</sup> Panerai, P. “O retorno à cidade”. In revista *Projeto*, abril 1994

<sup>32</sup> Dorfles, G., op. cit.

projeto, de um ingênuo apelo positivista, teve que se defrontar com as emergentes questões culturais que ocuparam o debate à época que o sucedeu”<sup>33</sup>.

Mumford antevia, então, a superação do mito maquinista pelo impulso criador do homem nos movimentos que se seguem.

Otília Arantes afirma que:

“... a partir do momento em que o desenvolvimento das forças produtivas, ao invés de fazer explodir o quadro estreito e opressivo das relações de produção, passou a confirmá-lo e reforçá-lo, a sorte do Movimento Moderno, que confiara àquele processo o destino da utopia, estava selada – quanto mais ‘racionalizava’ seu programa, mais ilusões enterrava. As coisas sendo o que são, para a arquitetura, a era das intervenções drásticas e radicais está encerrada”.<sup>34</sup>

Bruno Zevi completa, de forma aparentemente niilista, atacando a possível interpretação funcionalista da arquitetura, aquela que

“em seu duplo significado utilitário e tecnicista, é fruto de uma inibição mental que, nascida da polêmica contra a ‘arte pela arte’, insígnia da não arte tradicionalista, na apologia do mundo industrial moderno e dos fins imanentes e sociais da arquitetura, não fez mais do que escolher o outro termo desse binômio – arte e técnica – em que quis desintegrar, desde os mais antigos tratadistas, a produção arquitetônica”.<sup>35</sup>

Para ele, “parece absurda a tese segundo à qual as formas arquitetônicas seriam determinadas pela técnica construtiva”. Na verdade, não se coloca contra o valor da “história da construção” como parte da “história de um monumento”, mas sim à redução da crítica à análise técnica.

A partir da década de 50 evidencia-se na produção arquitetônica um processo de crítica ao movimento moderno. A arquitetura torna-se um conjunto de tendências que, a partir de então assumiram uma postura em relação ao movimento moderno, seja por sua negação ou renovação. Algumas rejeitaram as

---

<sup>33</sup> Mumford, L. op. cit..

<sup>34</sup> Arantes, O. *O lugar da arquitetura depois dos modernos*. São Paulo, Nobel/EdUSP, 1993

<sup>35</sup> Zevi, B. *Saber ver a arquitetura*. São Paulo, Martins Fontes, 1994

idéias do modernismo procurando referências figurativas nas formas arquitetônicas históricas. Outras, no entanto, optaram por dar continuidade às pesquisas modernistas, apegando-se a posturas específicas, umas pela ênfase na forma, outras pela construção e pela técnica.

A crítica ao modernismo ataca a idéia de que o conceito de forma seria estendido para o campo da produção, o que significa o como ela se produz, associando-a à idéia de design – conceito que nasce com Muthesius e é a base para a Bauhaus – ou seja, arquitetura como produto de relações objetivas: questões pensadas no campo da técnica passaram a ser elementos componentes da forma, o que acabou por gerar uma outra estética.

O tom do discurso se altera em meados dos anos 50, tornando-se menos prescritivo; retorna-se a discussão a questões mais internas à arquitetura, atacando os modernos por buscar justificativa em questões externas, como a produção industrial. Segundo a crítica de Argan:

“... o projeto não pode ser tão simplesmente um exame dos dados objetivos e um cálculo das resistências dos materiais ou do preço dos materiais ...”

24

Necessita-se introduzir valores:

“...hoje a idéia de valor foi colocada em crise. A mesma crise que a idéia de projeto, (...) porque, se não se pode conceber um projeto sem uma idéia de valor, não se pode conceber o valor sem o projeto de alcançá-lo”.<sup>36</sup>

Na Inglaterra, nos anos 60, a arquitetura encontra-se em total submissão a exigências metodológicas. Segundo o que foi conhecido como Design Methods, o projeto pode ser desenvolvido sem a participação de um conceitor, pois poderia ser originada exclusivamente da boa formulação de um programa. A principal cabeça dessa linha de pensamento foi Christopher Alexander, autor de infinitos fluxogramas urbanos ou cidades-fluxograma.

Paralelamente ao processo de industrialização baseado no Design Methods, outras correntes confiam na tecnologia, como nos EUA, com Fuller (que ainda

---

<sup>36</sup> Argan, G. C., op. cit.

acreditava na redenção pela produção em massa e em um equipotencial tecnológico como instrumento de equiparação das nações) e Wachsmann, cuja pesquisa buscava reduzir os elementos de construção para otimizar a produção e a construção.

Proposições utópicas através da figuração técnica relacionada à indústria surgem na década de 60. A técnica passa a expressar outros sentimentos em relação ao mito maquinista. Aqueles que se dedicam à utilização da técnica como expressão em arquitetura (maquinista) acrescentam a ela outras componentes, de cunho subjetivo, como a utopia, o humor ou a ironia. Muitas dessas experiências ignoram a construtibilidade, utilizando a técnica como figuração: Archigram, Nieuwenhuis, Cedric Price. Experiências usam a técnica industrial exclusivamente como uma linguagem e não como instrumento, o que deprecia seu valor tectônico ou construtivo.

Na Inglaterra uma corrente busca a retomada do racionalismo com a adição de uma tradição. Baseada na técnica, surgiu como opção no processo de continuação e transformação da visão modernista. A Inglaterra tem sua tradição mais fortemente expressa pela “revalorização do problema técnico, que historicamente havia sido a grande característica da ação arquitetônica nesta ilha, e que a ligara definitivamente à engenharia inventiva dos séculos XVIII e XIX”.<sup>37</sup>

25

Na década de 70, o Beaubourg surge como o primeiro edifício a ser considerado como representante de uma vertente com ênfase em alta tecnologia, o que a mídia classificou como arquitetura High Tech, depois de anos de projetos utópicos que faziam da técnica industrial a possibilidade de redenção da sociedade, e dos projetos que ironizavam as potencialidades da indústria estilizando seus próprios recursos (tema discutido no capítulo 4).

Paralelamente, para a industrialização da construção:

“os anos 70 são marcados por debates sobre as ‘regras do jogo’ para a industrialização aberta; a intercambialidade e a permutabilidade entre produtos de origens diversas, tenderia a ser alcançado através da coordenação dimensional.

---

<sup>37</sup> Spadoni, F., op. cit.

Procura-se um acordo que fosse traduzido em normas de produção e aplicação de componentes de maneira a transformar o processo de trabalho na direção de algo em torno de uma montagem progressiva entre peças”.<sup>38</sup>

Os anos finais da década de 70 e a década de 80 apresentam um resfriamento dos esforços, teóricos e empresariais, na industrialização. Aponta-se para o retorno ao processo tradicional, e os esforços passam a ser despendidos no desenvolvimento da racionalização da produção.

Atualmente, há correntes que enfatizam a tecnologia como *imagem*. Isto fica evidente em manifestações de caráter epidérmico, o que se comprova pela observação de muitas das importantes publicações de arquitetura. Isso demonstra uma nova ressurreição da crença na tecnologia, mas não aquela que sustenta o desenvolvimento do caráter científico aplicado às técnicas construtivas (tectônica) da arquitetura. Desta vez, a mídia é a nova máscara arquitetônica, que busca compreender seu tempo e a influência da informática e das telecomunicações. A inventividade quase se reduz à riqueza de texturas e formas “improjetáveis”, confiando ao computador e às imagens o traço do arquiteto.

---

<sup>38</sup> Castro, Jorge Azevedo de. *Invento e inovação tecnológica na construção*. Tese, São Paulo, FAU-USP, 1994

## CONCEITOS

### Artesanal x Industrial

Para melhor compreendermos quais são e em que se baseiam as inovações tecnológicas originadas da Industrialização da Construção, bem como as perspectivas e tendências de transformação do Espaço Construído é preciso caracterizar os dois processos técnico-produtivos existentes: artesanal e industrial.

Os dois processos podem ser caracterizados como antagônicos; porém pode-se observar que em ambos, o agente de trabalho é o homem; porém, no primeiro caso o instrumento é a ferramenta e no segundo, a máquina.<sup>39</sup> Apesar do processo artesanal anteceder o industrial, ele se utiliza dos produtos industrializados e de alguns princípios como a racionalização. Por outro lado, o processo industrial substitui o artesanal, negando-o mas, por sua vez, o incorpora em algumas de suas fases.

A princípio, o artesanato era do tipo familiar onde os produtos eram fabricados na residência do artesão. Com o surgimento das feiras e das cidades, os artesãos passaram a se concentrar num único local para executarem seus produtos. Estes locais foram chamados de “primeiras fábricas”<sup>40</sup>, sendo a produção, destinada ao consumo. O desenvolvimento do processo industrializado - com a preocupação quanto ao custo e à produção, até então inexistente nas “primeiras fábricas” - associadas às conquistas técnicas - vapor, eletricidade, etc. - trouxeram uma nova fase: a indústria.

A este trabalho não cabe analisar profundamente os conceitos que caracterizam os dois processos, mas sim fazer uma caracterização “diferencial-estrutural” entre ambos (ver tabela 1).

27

---

<sup>39</sup> Santos, Paulo F. “A arquitetura da sociedade industrial”. *Habitat*, nº 20 e 23 a 30, Rio de Janeiro, 1955

<sup>40</sup> Camargo, Azael Rangel. *Industrialização da construção no Brasil: elementos teórico-metodológicos para o planejamento da construção do espaço através de inovações tecno-produtivas*. Dissertação, São Carlos, EESC-USP, 1975

	PROCESSO TÉCNICO-PRODUTIVO	
CARACTERÍSTICAS	ARTESANAL	INDUSTRIAL
instrumentos de trabalho	<ul style="list-style-type: none"> <li>ferramentas que representam ampliações ou prolongamento das mão do trabalhador (artesão).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>máquinas que procuram substituir o homem na execução de um trabalho.</li> </ul>
local de produção	<ul style="list-style-type: none"> <li>ateliê ou oficina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>fábricas ou usinas</li> </ul>
produto gerado	<ul style="list-style-type: none"> <li>único e individualizado</li> <li>mercado restrito</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>multiplicado muitas vezes</li> <li>amplo mercado consumidor</li> </ul>
organização da produção	<ul style="list-style-type: none"> <li>pelo artesão que tem liberdade de ação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>baseada na racionalidade e eficiência e transcende a ação de cada trabalhador</li> </ul>
forma de organização da produção	<ul style="list-style-type: none"> <li>processo contínuo de transformação da matéria prima até se obter o produto final.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>separação entre a produção das partes componentes do produto e uma fase de montagem dos componentes formando o produto desejado.</li> </ul>
divisão do trabalho	<ul style="list-style-type: none"> <li>o artesão acompanha todas as etapas pelas quais a matéria prima se transforma em produto final.</li> <li>quase nenhuma divisão do trabalho.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>autonomia bem nítida das fases produtivas</li> <li>divisão do trabalho extremamente refinada.</li> </ul>
formação do trabalhador	<ul style="list-style-type: none"> <li>longo tempo de preparação, através da experiência acumulada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>preparação curta para as atividades que dizem respeito à operação de máquinas.</li> <li>longo tempo de formação para as atividades que dizem respeito às etapas criativas ou organizacionais ou técnicas.</li> </ul>
criatividade	<ul style="list-style-type: none"> <li>ato sempre presente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pertence a uma fase bem definida que é a do design do produto.</li> </ul>

Tabela 1 - Elementos "conceituais-diferenciais" dos Processos Técnico-Produtivos Artesanal e Industrial<sup>41</sup>

<sup>41</sup> Baseado em Camargo, A. R., op. cit.

Feita essa conceituação, podemos avaliar as implicações do processo industrial na construção do espaço, bem como as inovações tecnológicas ligadas ao processo.

### **Inovações Técnico-Produtivas**

As Inovações Técnico-Produtivas que estão na base do processo de Industrialização da Construção do Espaço podem ser pensadas a partir da racionalização do processo de produção e da tecnologia de equipamentos de trabalho, e de insumos (matérias primas) mobilizados na produção do espaço. O Sistema Construtivo Industrializado tem como objetivo a aplicação dessas inovações técnico-produtivas.<sup>42</sup>

### **Racionalização do Processo de Produção**

A racionalização do processo de produção está ligada à idéia de organização - significa desenvolver a maneira melhor e mais ágil de produção do produto. Enquanto no processo produtivo artesanal a produção é unitária e feita simultaneamente à montagem, realizada no canteiro, no processo produtivo industrial, a produção das partes do produto é feita em usina visando maior qualidade e produtividade.

29

A racionalização acontece em todas as atividades específicas: produção, montagem, projeto do espaço, projeto do design dos subsistemas tecnológico-estético-construtivo.

O principal problema da racionalização no processo produtivo industrial é a “coordenação modular” dos elementos e componentes “pré-fabricados”.

“Os impactos da racionalização originada da Revolução Industrial na construção não dizem respeito somente à organização das atividades, dos meios e da utilização dos recursos disponíveis na sociedade, mas implicam uma mudança

---

<sup>42</sup> Camargo, op. cit.

na própria maneira de pensar o espaço como elemento dinâmico, acompanhando as mutações estético-culturais da sociedade”<sup>43</sup>.

O projetista, tanto do Sistema Industrializado (designer) quanto do espaço (arquiteto) deve ter conhecimento dos conceitos e implicações que estão na base da discussão da Industrialização das construções a fim de obter uma solução mais ajustada do objeto arquitetônico à sociedade contemporânea.

Segundo Melhado, a racionalização tornou-se uma alternativa mais próxima à realidade da indústria da construção civil. Isso significa

“a implantação de medidas de padronização de componentes, simplificação de operações e aumento da produtividade que podem trazer redução de custo. No entanto, a maior parte dessas medidas têm de ser adotadas ainda na fase de projeto, pelas suas implicações quanto a dimensões e detalhes que são incorporados ao mesmo”.<sup>44</sup>

## Sistemas Construtivos

30

Pode-se definir sistema construtivo como:

“...um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo”.<sup>45</sup>

“...um conjunto de partes e materiais, elementos e técnicas utilizados segundo determinadas regras de combinação e ordenação racional para concretizar o objeto arquitetônico”.<sup>46</sup>

“...resultado da compatibilização de determinada solução estrutural e uma dada e definida técnica construtiva”.<sup>47</sup>

---

<sup>43</sup> Camargo, A. R., op. cit.

<sup>44</sup> Melhado, S. B. *Qualidade de projeto na construção de edifícios*. Tese, São Paulo, EP-USP, 1994

<sup>45</sup> Sabbatini, F. H. *Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia*. Tese. São Paulo, EP-USP, 1989

<sup>46</sup> Martucci, R. *Projeto tecnológico para edificações habitacionais: utopia ou desafio?* SP, FAUUSP, 1990

<sup>47</sup> CIB apud Andrade, L. A. D. *Vale do Paraíba: sistemas construtivos*. São Paulo, FAUUSP, 1984.

Picarelli caracteriza sistemas construtivos como um conjunto de produtos “disponível e utilizável na obra arquitetônica” e que, “mantém entre si determinadas regras de combinação sem as quais não podem ser utilizados...”<sup>48</sup>

O sistema construtivo seria, então, o conjunto de conhecimentos técnicos e organizacionais, possíveis de serem combinados, em função do grau de desenvolvimento tecnológico em que se encontram a indústria de materiais de construção e a indústria de máquinas, equipamentos e ferramentas para a construção civil.

Muitos sistemas comerciais permanecem pouco tempo no mercado, por questões de demanda ou outros fatores aos quais o setor se sujeita. A forma hermética como são propostas essas soluções eliminam qualquer possibilidade de substituição correta de componentes, ampliação ou alteração dos espaços, ou mesmo anexação de cômodos. Vemos então abandonados alguns princípios que guiaram o projeto do sistema, como facilidade e rapidez de montagem, limpeza da obra, ou seja, retorna-se à forma tradicional de produção. Vemos, quase sempre, sistemas que necessitam de uma grande quantidade de etapas realizadas no canteiro, como acabamento em juntas, pintura, cortes e ajustes de encaixes, pintura, etc.

31

## **Sistemas Fechados**

As propostas de produção industrializada da edificação firmaram-se através da produção de sistemas construtivos.

A industrialização da construção no Brasil, a partir da década de 60, acreditou no desenvolvimento de sistemas fechados. Tais sistemas são baseados em um conjunto de elementos e componentes projetados segundo uma regra interna ao próprio sistema. Alguns poucos elementos industrializados padronizados são agregados ao sistema.

---

<sup>48</sup> Picarelli, M. *Habitação: desenho industrial e tecnologia*. Tese de livre docência, São Paulo, FAUUSP, 1982

Por ser fechado impede o intercâmbio de partes com outros sistemas ou mesmo de componentes padronizados oferecidos no mercado.

Grande parte das experiências e dos estudos em industrialização abordam a produção e o projeto de sistemas construtivos. Trabalhos abordando projeto de componentes são eventos isolados e representam uma minoria dentro do quadro de pesquisas sobre a construção.

### **Sistemas Abertos**

Os sistemas abertos não condicionam previamente a forma do espaço restringindo a tipos padronizados, como o fazem os sistemas fechados. Os elementos e componentes são produzidos em série, e não o espaço. Preserva-se a abertura para a utilização criativa dos sistemas.

### **Sistemas Flexíveis**

Diante do cenário de mudanças dos paradigmas industriais de produção, onde se observam mercados mais exigentes quanto à flexibilidade, produtividade e qualidade na produção de edificações, uma perspectiva pertinente para a prática produtiva de espaços construídos são os sistemas construtivos flexíveis, que “possibilitam a incorporação e controle da variabilidade nos processos de trabalho em uma flexibilidade planejada, caracterizada pela versatilidade em permitir, ao sistema produtivo, ágeis readequações a demandas e conjunturas diferenciadas”.<sup>49</sup>

Na década de 70 esperava-se da indústria uma diminuição de tipologias a serem produzidas, associado ao conceito de standardização. A indústria hoje baseia-se na flexibilidade de produção, que permite a variabilidade de tipos, produzidos em séries limitadas, o que não significa não seguir padrões ou o princípio da coordenação dimensional. Construções flexíveis com materiais

---

<sup>49</sup> Fabrício, Márcio Minto. *Processos construtivos flexíveis: projeto da produção*. Dissertação, São Carlos, EESC-USP, 1996

flexíveis e tecnologia cada vez mais avançadas que possibilite a criação de ambientes flexíveis para melhor satisfação dos anseios de seus habitantes.

Métodos recentes de produção industrializada permitem a variabilidade do produto, do que decorre a possibilidade de produzir pequenos lotes. Em se tratando de produtos que compõem uma edificação, tal atitude parece estranha se pensarmos que, em necessitando alterar espaços, elementos outrora produzidos deixaram de existir. Basta pensarmos no caso dos escritórios flexíveis, ou mesmo de armários de cozinha, que seguem correntes estilísticas e estão profundamente associados à moda e ao estilo.

### **Pré-fabricação**

A passagem do artesanato para a industrialização tem como premissa obrigatória a pré-fabricação caracterizada pela separação entre produção e montagem - que é característica fundamental da industrialização.

“A pré-fabricação dos elementos de uma construção constitui uma fase de industrialização, uma vez que não está, como esta, associada aos conceitos de organização e de produção em série. Um número qualquer de unidades projetado e executado para um fim específico será simplesmente pré-fabricado e não deverá ser considerado como produção industrial.”<sup>50</sup>

33

A pré-fabricação consiste na execução prévia de elementos e componentes da construção e tem como objetivo “obter processos rápidos e baratos, que garantam resultados homogêneos e dentro de prazos previstos”.<sup>51</sup> Este modo de produção exige que:

- a maioria dos elementos ou componentes que integram o produto final sejam industrializados;
- os produtos de uma indústria sejam consumidos por outra;

---

<sup>50</sup> Bruna, P. *Arquitetura, industrialização e desenvolvimento*. São Paulo, Perspectiva, 1983

<sup>51</sup> Camargo, A. R., op. cit.

- haja uma normalização de qualidade e dimensões.

Para tanto, é preciso que haja coordenação modular entre os componentes e elementos da construção.

Existem vários tipos de sistemas pré-fabricados e em vários materiais: concreto, metálicos, de plástico e outros.

Nas décadas de 50 a 70, a pré-fabricação era entendida como a produção de componentes pressupondo a produção de um objeto (arquitetônico). Hoje, verifica-se a fabricação sobre a pré-fabricação: componentes são produzidos e projetados independentemente, estando sua utilização vinculada à eficiência das estratégias de marketing das empresas produtoras.

### **Coordenação Modular**

Existem duas fases distintas na construção do edifício: a produção dos materiais, dos componentes ou materiais intermediários; e a montagem destes componentes em canteiro, i.é., a construção do produto final.<sup>52</sup> Os principais problemas consistem na coordenação dos diversos componentes da construção e no transporte dos produtos fabricados nas usinas.

34

Camargo define a coordenação modular entre elementos e componentes como sendo

“uma aplicação específica do método industrial à construção civil, por meio da qual se estabelece uma dependência recíproca entre produtos básicos e intermediários de série (elementos e componentes) e produtos finais (edifícios), mediante o uso de uma unidade de medida comum e de uma lei comum de relacionamento”.<sup>53</sup>

A separação do processo de construção em produção dos componentes em usina e montagem em canteiro, exige a necessidade de um trabalho de

---

<sup>52</sup> Ferro, S. op. cit.

<sup>53</sup> Camargo, A. R., op. cit.

normalização, a fim de que haja uma verdadeira integração de todos os subsistemas.

Em um trabalho realizado em 1968, elaborou-se um rol de medidas a serem tomadas pelas indústrias no projeto de seus produtos com o intuito de possibilitar uma coordenação modular na edificação. O trabalho visava “proporcionar à indústria maiores facilidades na sua fabricação, seu emprego, aumento de demanda, simplificação dos padrões, maior rendimento, desenvolvimento, etc.”<sup>54</sup> Foram apontados os seguintes itens:

- Proporcionar à indústria de materiais de construção, os precisos termos de referência para a determinação das dimensões dos seus produtos, preparando-se uma demanda em futuro próximo, possibilitando a aplicação de planos de produção a longo prazo, cujos riscos de estocagem se reduzirão ao mínimo e trazendo como consequência o barateamento do produto.
- Reduzir tempo e custo na elaboração de projeto arquitetônico e na construção, pela diminuição de variáveis e pela sua simplificação.
- Obter um método simples de especificação e controle de materiais, permitindo ao mesmo tempo uma fiscalização de custos mais efetiva.
- Possibilitar que sejam encontrados em todo o país materiais padronizados, com as decorrentes vantagens.
- Possibilitar uma saudável competição entre as indústrias do setor, pela produção de materiais standardizados em todo o país (o que na verdade vai contra os interesses de empresários do setor, que não querem ver seus produtos substituídos, integral ou parcialmente, por produtos da concorrência).
- Desenvolver a indústria de materiais de construção pela aplicação de melhores métodos, obtendo assim maior índice de produtividade.
- Incentivar a montagem de novas indústrias em regiões desprovidas e carentes, pela certeza de demanda de seus produtos.

35

---

<sup>54</sup> revista Acrópole 350, 1968

Deve-se lembrar que a coordenação modular também se aplica às partes projetadas e pré-fabricadas para a execução de um edifício único.

## DESIGN

“Ainda que a história do design moderno, privilegiando com frequência a arquitetura, não possa ser considerada propriamente como a história do desenho industrial, não resta dúvida de que nela se moldaram as matrizes interpretativas mais usuais da origem do desenho industrial”.<sup>55</sup>

O vocábulo desenho, que se vê aplicado acima junto à palavra 'industrial', traz inúmeros significados. Deve-se portanto delimitar, ou melhor, estabelecer com clareza de que se está tratando. O termo origina-se do inglês *industrial design*. 'Design' seria melhor traduzido como projeto, e por consequência plano, concepção, planejamento, criação ou os verbos correspondentes, denotando uma atitude mental instrumentalizada, intelectual, perante o ato de desenhar; diferencia-se do desenho como pura representação gráfica, de *drawing*, desenho. Em espanhol, correspondem respectivamente os termos *diseño* e *dibujo*. Em português, usamos simplesmente o termo desenho, que segundo o Dicionário Aurélio corresponde a um grande número de significados: traçado, risco, projeto, plano; forma, feitio, configuração; e 'desenho industrial', define como a atividade especializada de caráter técnico e artístico, que se ocupa da concepção da forma de objetos tridimensionais (desenho de produto) e bidimensionais (programação visual) a partir de critérios de funcionalidade e estéticos, com vistas à produção

36

---

<sup>55</sup> Maldonado, T. *El Diseño Industrial Reconsiderado*. Barcelona, Gili, 1974: "Aunque la historia del modern design, privilegiando con frecuencia la arquitectura, no pueda ser considerada propiamente como la historia del diseño industrial, no cabe duda de que en ella se han forjado las matrices interpretativas más usuales del origen del diseño industrial"

industrial ou em série; o produto desta atividade. O dicionário define ainda o verbete design como “concepção de um projeto ou modelo; planejamento”,<sup>56</sup> ou seja, a palavra é usualmente utilizado em língua portuguesa.

Segundo Maldonado, “desenho industrial é a projeção de objetos fabricados industrialmente, isto é, por meio de máquinas e em série”.<sup>57</sup> Para Bonsiepe, “o desenho industrial se situa entre as necessidades reais dos usuários e os imperativos e anseios daqueles que fabricam e comercializam. Compatibiliza exigências técnico-funcionais com restrições de ordem técnico-econômicas”.<sup>58</sup>

Para o ICSID (International Council of Society of Industrial Design), desenho industrial consiste em projetar a forma do produto. Porém, projetar a forma significa: coordenar, integrar, articular todos os fatores que participam do processo constituinte ou determinante da forma do produto. Esses fatores são relacionados com a função, o uso, o usuário, o consumo individual e social, com a produção do ponto de vista técnico, econômico, construtivo, sistemático, produtivo, distributivo, etc.<sup>59</sup>

Para Löbach, por desenho industrial “podemos entender toda atividade que tende a transformar em um produto industrial de possível fabricação as idéias para a satisfação de determinadas necessidades de um grupo”.<sup>60</sup>

37

---

<sup>56</sup> Ferreira, Aurélio Buarque de Holanda. *Novo dicionário Aurélio de língua portuguesa*. São Paulo, Nova Fronteira, 1986

<sup>57</sup> Maldonado, T., op. cit.

<sup>58</sup> Bonsiepe, G. Citado em *Desenho Industrial na Edificação*, publicação do Grupo de Disciplinas de Desenho Industrial, São Paulo, FAU-USP, 1983

<sup>59</sup> *Desenho Industrial na Edificação*, publicação do Grupo de Disciplinas de Desenho Industrial, São Paulo, FAU-USP, 1983

<sup>60</sup> Löbach, B. *Diseño Industrial - Bases para la Configuración de los Productos Industriales*. Barcelona, Gili, 1981

## Aspectos históricos

Os progressos técnicos alcançados ao longo da primeira metade do século XIX, principalmente na Inglaterra, a serviço de uma indústria recente e sem alicerces teóricos, permanecem por algum tempo sem que as ciências humanas lhes forneçam amparo intelectual na criação de uma linguagem apropriada à produção industrial. São colocados no mercado produtos marcados pela vulgaridade, objetos de uso cotidiano aos cuidados de projetistas insólitos. As formas correntes da produção industrial chegam a ser determinadas por alguns artistas da moda. Objetos únicos por eles criados são reproduzidos industrialmente; a facilidade de produção faz ignorar o material original. Segundo Benevolo,

“uma série de formas, separadas pelas circunstâncias em que foram idealizadas e também pelos materiais com que foram inicialmente executadas, e dotadas de uma vida própria abstrata e impessoal; as máquinas, por outro lado, estão prontas para traduzir essas formas, com igual impessoalidade, em qualquer escala, em qualquer material e em qualquer número de exemplares”.<sup>61</sup>

38

Peças que originalmente seriam produzidas de forma artesanal passam a ser estampadas, com rigor de precisão sem importar o grau de dificuldade ou o material, já que graças a artifícios engenhosos podem imitar a madeira, pedras ou metais ou mesmo os mais delicados traços da mão do artesão. A possibilidade de produzir e reproduzir objetos indefinidamente não tem como preocupação a qualidade ou o gosto artístico.

Os primeiros passos em direção à compreensão do problema e a uma renovação estética são dados, entre outros, mas inicialmente, por William Morris (afilhado ideológico de John Ruskin). Destaca-se pela dedicação não somente teórica; sua atuação é fundamentalmente prática. Sua participação é de especial interesse para a recuperação da qualidade da produção através da eliminação das

---

<sup>61</sup> Benevolo, op. cit.

distâncias entre artes maiores e artes menores (ou artes aplicadas), abertas com o Renascimento com a criação do campo específico da teoria da arte e com os artistas tomando uma posição intelectual perante a arte, em oposição ao período medieval. Morris assume a postura até então inédita de comprometer a questão projetual com a posição intelectual e moral do projetista e do consumidor.

A sociedade se encaminha, no século XIX, para sua total industrialização. As idéias de Morris percorrem um caminho estranho à sociedade que então se desenrola. Assume uma postura romântica e, avesso à industrialização, adota a Idade Média, suas relações sociais, suas formas de produção e sua cidade como modelo para uma nova sociedade. Mesmo partindo da negação da sociedade que lhe é contemporânea, desenvolve uma ação crítica - e bem podemos chamar de ação por, além da atividade intelectual/teórica, é o primeiro personagem a transferir suas idéias para a prática - responsável pelo diagnóstico das patologias industriais do século XIX. Sua atuação crítica se desdobra para a produção de objetos cotidianos, mobiliário, tecidos, dando uma importante contribuição para alterar o gosto e desenvolver o design em seu sentido estético, mesmo com a negligência de negar seu tempo (talvez 'negar', não seja um termo apropriado levando-se em conta que a reação de Morris só acontece por estar inserido naquele contexto). Sua atividade prática acaba por lhe revelar ser impossível negar por completo a existência da máquina. Para exemplificar, seus trabalhos com tapeçaria são impraticáveis sem teares mecânicos, já que desenvolvia suas atividades com caráter mercantil e variáveis como tempo e custo de produção passam a ser contundentes; uma de suas premissas é que a produção deve ser popular, e a tendência para o artesanato dava acesso a pequenas fatias burguesas da sociedade.

"Morris proclama: "Não quero arte só para alguns (...)" ; "Que interesse pode ter a arte se não puder ser acessível a todos?" Morris é assim o verdadeiro profeta do século XX. A ele devemos que a residência de um homem qualquer tenha voltado a ser uma criação valiosa do pensamento do arquiteto, e que uma cadeira,

um papel de parede ou um vaso sejam de novo criações valiosas da imaginação do artista”.<sup>62</sup>

Mais tarde, segundo Pevsner,

“van de Velde demonstrou ao seu público que grande parte do Artes e Ofícios (ou Arts and Crafts, movimento iniciado por Morris) inglês havia permanecido um passatempo de artistas altamente sensíveis, dedicado a conhecedores altamente sensíveis também”.<sup>63</sup>

Além de uma contradição interna a seu pensamento, Morris contradiz as necessidades de produzir grandes quantidades, para grandes massas de consumidores e a baixos custos, condições indissociáveis da nova sociedade.

Para Pevsner, o pensamento de Morris

“é uma estranha teoria para ser seguida por um homem de meados do século XIX. Só pode ser entendida como uma demonstração de oposição ao padrão e ao gosto do design como foi exibido na Grande Exposição de Londres (1851), de Paris (1855), novamente de Londres (1862) e novamente de Paris (1867)”.<sup>64</sup>

40

À opinião de Pevsner soma-se a de Maldonado:

“...a *Great Exhibition* havia sido importante por haver contribuído para revelar a degradação estética dos objetos, no momento em que se passa do artesanato para a produção industrial”<sup>65</sup>

Essas exposições eram a grande vitrine da mediocridade industrial européia. Além dos objetos, em algumas das edificações construídas para os eventos constatamos a prosperidade da técnica utilizada pelos engenheiros nas estruturas e nos fechamentos em vidro. A contrariedade se demonstra pela colagem, em alguns casos, de camadas “artísticas” sobre estruturas delgadas. A clareza de uma

---

<sup>62</sup> Pevsner, N. *Os Pioneiros do Desenho Moderno*. São Paulo, Martins Fontes, 1995.

<sup>63</sup> Pevsner, N. *Origens da Arquitetura Moderna e do Design*. São Paulo, Martins Fontes, 1996 (1968)

<sup>64</sup> idem

<sup>65</sup> Maldonado, T., op. cit.: “ *la Great Exhibition habría sido importante, por haber contribuido a revelar la degradación estética de los objetos, en el momento del paso de la artesanía a la producción industrial*”.

intenção artística com elementos industrializados ainda não é visível, e talvez mesmo inexistente.

Também Ruskin se opõe aos pavilhões de exposição, afirmando terem as estruturas de ferro se desviado de sua idéia de arquitetura, calcada em precedentes históricos. Interessante constatar que faz da utilização de revestimentos com o objetivo de imitar materiais diversos dos reais e o emprego de ornamentos feitos a máquina.

Os continuadores de Morris mantêm uma idêntica postura de hostilidade à máquina, sem acrescentar inovações substanciais. Estes serão sucedidos por uma geração que supera os preconceitos para com a sociedade industrial e passam a trabalhar em função da premissa inegável da industrialização. Curiosamente, nenhum integrante dessa geração era da Inglaterra, que praticamente deixa de contribuir para a formação do Movimento Moderno com a morte de Morris em 1896. Henri van de Velde, Adolf Loos, junto a Wagner, Sullivan e Wright, os dois últimos nos Estados Unidos, foram os primeiros arquitetos que admiraram a máquina e compreenderam o seu significado e as conseqüências que implicava para as relações entre a arquitetura e a decoração.

41

A partir da segunda metade do século XIX já não há como negar indústria e seus métodos. Mesmo não existindo um campo definido para o desenho industrial, há fatos e personagens que delinearam seus princípios e seus possíveis relacionamentos com a arquitetura.

Para Bruna,

“o Palácio de Cristal propõe e extingue em si a problemática essencial da arquitetura entendida como Industrial Design e forneceu a mais completa e indiscutível contribuição de seu tempo, marcando a primeira fuga dos estilos históricos na arquitetura e simultaneamente uma concepção estritamente ligada aos conceitos de produção em massa”.<sup>66</sup>

---

<sup>66</sup> Bruna, P., op. cit.

Frampton descreve o caráter da postura projetual de Paxton, lançando a matriz arquitetônica influenciada pelos princípios do design:

“O Crystal Palace não era tanto uma forma particular quanto um processo de construção tornado manifesto como sistema total, desde a concepção, a fabricação e o transporte iniciais até a construção e o desmonte finais”.<sup>67</sup>

O desenho industrial desenvolve-se como disciplina aplicada à indústria como um todo e, como processo global acaba por influenciar a arquitetura. Após toda a movimentação inglesa pela identificação de uma arquitetura da era industrial, no século XIX, o eixo se desloca para a Alemanha, onde importantes movimentos atacam o tema. Não convém alongar-se em temas tão exaustivamente abordados por importantes historiadores e críticos; faz-se aqui um apontamento das direções tomadas pelo design.

Em 1907 é estabelecida a Deutscher Werkbund, movimento que reúne artistas e empresários em torno da melhoria da qualidade dos produtos industriais alemães. Busca-se o

“... relacionamento entre arquitetura, enquanto arte do design, com a produção mecânica em todas as suas fases, desde a oficina da fábrica até o anúncio do produto acabado”.<sup>68</sup>

42

Em 1919 estabelece-se a Bauhaus, escola dedicada à formação de profissionais de design. Originalmente enfática na formação através do artesanato e para ele, a partir de 1923 demonstra “interesse na produção mecanizada, e os problemas de projetar para ela”, sem contudo abandonar as práticas artesanais como método de aprendizado através do saber-fazer. Já se mencionou anteriormente o posicionamento do principal responsável pela escola, Walter Gropius.

---

<sup>67</sup> Frampton, K *História crítica da arquitetura moderna*. São Paulo, Martins Fontes, 1997 (1992)

<sup>68</sup> Banham, R. op. cit.

O desenho industrial representou para a arquitetura modernista o instrumento de materialização da arquitetura produzida pela indústria, da racionalização, da produção em massa.

O campo do desenho industrial amparou todo o desenvolvimento ocorrido no processo de industrialização na arquitetura verificado após a Segunda Guerra Mundial, fato descrito anteriormente, e a criação de sistemas e componentes. Ao mesmo tempo que serve ao projeto para produção em massa, tornou-se posteriormente instrumento de experimentação nas mãos de arquitetos que usam elementos pré-fabricados para compor suas estruturas.

## Arquitetura e Design

No campo da construção de edifícios o desenho industrial não conseguiu romper uma série de resistências, ao contrário da produção de bens de consumo e objetos do nosso cotidiano.

Segundo Picarelli,

“... a edificação se apresenta, em nossa realidade, como um conjunto de produtos que, se não constituem um sistema integral de produção industrial, está ligada à produção da indústria da construção implantada e inserida em nosso processo produtivo. Assim, vários são os exemplos que na edificação são produzidos industrialmente e que, portanto, tem seu projeto definido dentro do campo do desenho industrial: desde um simples rolo para pintura, um encaimento de PVC, um elemento de cobertura, ou mesmo um elemento pré-fabricado de concreto armado.”<sup>69</sup>

Essa afirmação se refere àquele momento em que se buscava a total industrialização de habitações que sairiam prontas de uma linha de montagem, visão influenciada pela indústria automobilística.

44

Dorfles é relutante em admitir a arquitetura dentro do campo do design industrial. Reconhece, no entanto, a produção de determinados componentes dentro deste campo. Adverte, todavia, que

“... na realidade existem muitas e relevantes analogias entre o tipo de projeto do objeto industrial e o de alguns elementos da arquitetura moderna (*curtain-walls*, encaixes e juntas, remates e outros elementos pré-fabricados, etc.) e até de certas grandes instalações industriais que apresentam elementos formais que neste aspecto se encontram entre o design e a arquitetura...”<sup>70</sup>

Picarelli divide em cinco enfoques a pesquisa sobre desenho industrial voltado para a edificação, especificando o caso das habitações: componentes da

---

<sup>69</sup> Picarelli, M., op. cit.

<sup>70</sup> Dorfles, Gillo. *O Design Industrial e sua Estética*. Lisboa, Presença/Martins Fontes, s.d.

edificação; tecnologia da edificação; sistemas construtivos; sistema hidráulico sanitário; e indústria da construção.

Jorge Castro acredita que não há apropriação por parte dos arquitetos e designers do projeto de componentes:

“... os títulos dedicados ao desenho industrial na construção se referem mais a projeções de idéia de industrialização do que a verificação do material existente no setor”.<sup>71</sup>

Bonsiepe, no Glossário do Livro *A Tecnologia da Tecnologia*, afirma que

“confunde-se às vezes o desenho industrial com a miniarquitetura ou a subarquitetura. Na Arquitetura, a variável “espaço” desempenha um papel primordial e trabalha-se com tolerâncias de até 10 cm. No desenho industrial, contam-se os centésimos de milímetro. Os problemas e as técnicas de produção diferem fundamentalmente nas duas áreas. Nem o desenho industrial é a continuação da Arquitetura em escala menor, nem a Arquitetura será substituída pelo desenho industrial travestido de Arquitetura pré-fabricada.”<sup>72</sup>

Ocorre ainda uma questão de cunho profissional e de formação do profissional, que Bonsiepe detecta da seguinte forma:

45

“Há (...) pessoas que podem manejar simultaneamente, sem inibição, problemas arquitetônicos, e projeto de produtos e de desenho gráfico, mas isso decorre muito mais da capacidade individual do que do caráter intrínseco do trabalho nas diversas áreas.”

O conflito detectado por Bonsiepe pode ajudar a compreender o que acontece com a industrialização da edificação. Segue:

“A área do arquiteto é a área do construído. Normalmente ele não faz objetos, mas edifícios, cria volumes nos quais as pessoas se movem, circulam, dormem trabalham, enquanto a intervenção do desenhista industrial limita-se ao volume do produto. Para o desenhista industrial a variável *espaço* não tem a mesma importância que tem para o arquiteto”.

---

<sup>71</sup> Castro, J., op. cit.

<sup>72</sup> Bonsiepe, G., op. cit.

Havemos de considerar ainda uma série de materiais de construção que, apesar de produzidos industrialmente, são de uma categoria de produtos a qual não se aplica o desenho industrial. É o caso de tintas, cimento, cal, ou outros, em que o projeto da forma é ausente, não podendo assim se caracterizar como casos de desenho industrial.

A elaboração de um sistema construtivo industrializado compreende 4 fases: design, produção, comercialização e montagem. O design é a fase mais importante e é quando se estabelece as diretrizes que nortearão a concepção do sistema; o projeto do sistema; execução de um protótipo; reformulação do projeto inicial e elaboração do projeto definitivo.<sup>73</sup>

O processo criativo deve ser concebido por uma equipe de designers que, devendo manter uma visão de cada fase, pense no sistema como um todo. Este processo deve ser: **totalizante** e controlar todas as variáveis que possam afetar a construção; **integrante**, no sentido de se ter controle sobre as relações mútuas dessas variáveis; **simultâneo**, no sentido de que estas variáveis e suas relações deverão ser consideradas simultaneamente ou, quando ocorrem em fases distintas, deverão ser previstas as soluções; e por fim deve ser **dinâmico**, permitindo que o sistema se adapte à novas situações que possam ocorrer na sociedade.

46

Existem dois tipos de design: do sistema-base técnico construtivo (representa atividades da fase do design do processo); e design do projeto do espaço (arquitetura). A partir de um sistema-base técnico construtivo teríamos uma série de sistemas espaciais.

O sistema-base técnico construtivo é um conjunto de “elementos e componentes agrupados em subsistemas que procuram atender as funções técnicas, estéticas e construtivas”.<sup>74</sup> Este conjunto deve ser passível de mudanças

---

<sup>73</sup> Camargo, A. R., op. cit.

<sup>74</sup> idem

e deve permitir a satisfação plena das necessidades sociais, de maneira que não seja necessário utilizar elementos e componentes não previstos no sistema base.

Portanto, um sistema industrializado de construção é um conjunto dos sistemas espaciais gerados a partir de um sistema-base técnico-estético-construtivo. Este sistema-base técnico-estético-construtivo nada mais é que um meta design, i.é., um design do design. Pode ser designado como: “teoria da estrutura do projeto como instrumento de caráter geral e abstrato que permite o estudo do projeto”.<sup>75</sup> É o estabelecimento de uma linguagem comum independente da especialização setorial de cada elemento da equipe.

O conjunto de sistemas espaciais que consiste em coordenar os subsistemas e componentes do edifício consistem numa questão de otimização, a maior variedade de diferentes arranjos espaciais para o menor número de elementos móveis. E isso se constitui num problema de metodologia de projeto.

A importância do meta design é que ele é aberto, i.é.,

“admite em si todas as disciplinas que possam influir no processo de criação de um produto industrial desde que elas se revistam de objetividade, conceituação precisa, arcabouço teórico fortemente coerente, linguagem bem definida e enfoque dinâmico”.<sup>76</sup>

47

Para que o sucesso do sistema seja satisfeito, é preciso ter profissionais preparados para trabalhar em equipe. Talvez um novo profissional que seria um projetista diferente do arquiteto ou engenheiro que trabalha em equipe de design e que seja preparado para outra concepção de projeto imposta pela industrialização das construções. Ele deverá, primeiro, dominar a sua especialidade e estar atento às pesquisas realizadas na sua área; e, em segundo lugar, permitir o diálogo e entendimento entre os outros profissionais, a fim de poder contribuir para a criação do sistema. As decisões referentes à qualidade, a aparência, custo e outras características básicas dos componentes, não devem ser tomadas separadas e independentemente pelos diversos participantes do processo de construção, mas

---

<sup>75</sup> Camargo, A. R., op. cit.

<sup>76</sup> idem

numa única direção, de pulso forte e diretamente responsável perante os consumidores do produto final.<sup>77</sup>

---

<sup>77</sup> Ferro, S., *op. cit.*

## ÊNFASE ESTRUTURAL NA ARQUITETURA

### da estereotomia ao esqueleto metálico

*"En nuestros días, el principio estructural reina como soberano en la construcción, llegándose, en las obras de carácter utilitario, a prescindir en absoluto de la materia pasiva, con lo que la Arquitectura va adquiriendo la nervosidad característica del siglo moderno, completamente opuesta a la dulce pasividad de arquitecturas antiguas..."*

Félix Cardellach, 1910

Este capítulo mostra a evolução do pensamento da arquitetura em relação à estrutura do edifício, demonstrando os avanços rumo a elementos cada vez mais esbeltos, leves. Parte-se do entendimento da palavra **estrutura** e faz-se, então, um panorama da utilização de estruturas metálicas (ferro e aço) na engenharia e na arquitetura.

## ESTRUTURA

Kenneth Frampton, em *Studies in tectonic culture*, constrói raciocínio sobre o potencial tectônico como categoria crítica da arquitetura. Convém introduzir o que o crítico entende por tectônica:

“Grego na origem, o termo tectônica deriva da palavra tekton, significando carpinteiro ou construtor. O verbo correspondente é tektainomai. Este por sua vez é relacionado em Sânscrito a taksan, referindo-se ao ofício da carpintaria e ao uso do machado. Vestígios de um termo similar podem ser encontrados na poesia védica, onde novamente se refere à carpintaria. Em grego aparece em Homero, onde alude à arte da construção em geral. A conotação poética do termo aparece primeiro em Safo, onde tekton, o carpinteiro, assume o papel de poeta. Em geral, o termo se refere a um artesão trabalhando em todo material resistente exceto o metal. No quinto século a.C. esse significado passa por uma evolução adicional, de algo específico e físico, como a carpintaria, para uma noção mais genérica do fazer, envolvendo a idéia de poiesis. Em Aristófanes parecia que a noção é associada com maquinação e a criação de coisas falsas, uma transformação que apareceria para corresponder à passagem da filosofia pré-socrática ao helenismo. Desnecessário dizer que o papel do tekton conduz eventualmente à emergência do mestre construtor ou architekton”.<sup>1</sup>

50

A análise etimológica da palavra tectônica demonstra sua ligação com a origem de “arquiteto” e está vinculada à idéia de construção. Isso demonstra o compromisso com relação à obra, estendendo-se ao trabalho e as operações para edificar. Operações envolvem um domínio sobre determinado ambiente técnico e técnica, como vimos, encampa as ferramentas, os utensílios como também as regras de execução, um ‘esquema operativo’. O **construtor** (e portanto, arquiteto) é um operador de técnicas construtivas e isso é a base para Frampton eleger a **tectônica** como categoria crítica.

---

<sup>1</sup> Frampton, K., op. cit. (1996)



Frampton detecta em Gottfried Semper a formulação do significado moderno de tectônica, no século XIX. Spadoni, referindo-se a Frampton, coloca da seguinte maneira

"Para Semper a forma tectônica se divide em: tectônica da armação, representada pela estrutura, e estereotomia, que era a massa compressiva, representada pelo empilhamento de peças idênticas. Quando se passa da estereotomia para a armação, a ênfase se dá na junção, que se torna uma verdadeira condensação ontológica, mais do que uma simples conexão".<sup>2</sup>

Semper chama de tectônica da armação (*frame*) o procedimento baseado na junção de componentes lineares leves para conformar uma matriz espacial, em oposição às pesadas estruturas de pedra ou tijolos às quais os arquitetos se habituaram até o século XIX.

Para Frampton, a tectônica por sua natureza deve transcender a lógica do cálculo, mas o fato persiste em que qualquer razão da cultura construtiva moderna deve reconhecer o papel crucial representado pela engenharia estrutural.

A noção de tectônica empregado por Frampton – o foco na arquitetura como uma arte/ofício construtivo – constitui um desafio direto à tendência de pensamento corrente sobre os limites artísticos do pós-modernismo e sugere uma alternativa convincente. Frampton argumenta que a arquitetura moderna é tanto estrutura e construção quanto espaço e forma abstrata. Frampton traça a trajetória tectônica ao longo do século XX através da ênfase ao potencial **tectônico da forma (*form*) estrutural**.

Para Francastel

"É em relação às artes e em especial, à arquitetura, que o termo estrutura entrou na linguagem. Não há porque se assombrar, porquanto a própria palavra é derivada de *struere*, construir (...). Se nos esforçarmos (...) por estabelecer o sentido original do termo, perceberemos que, em seu primeiro uso, o termo estrutura

---

<sup>2</sup> Spadoni, F., op. cit.

parece querer designar especificamente a disposição particular das partes de um todo".<sup>3</sup>

Sua delimitação está de acordo com Wieser, que em *Organismos, estruturas, máquinas*, traçando analogias entre sistemas orgânicos e técnicos, entende estrutura como

"... uma rede de relações entre elementos ou entre processos elementares. Donde sempre que se reúnam elementos num todo coerente, aparecerão estruturas cuja construção segue determinadas leis. À totalidade na qual descobrimos e pesquisamos estruturas chamamos 'sistemas'".<sup>4</sup>

Wieser pergunta-se

"A análise de um sistema até seus elementos e processos elementares não descuida de uma particularidade essencial do sistema e, mais ainda, não a destrói irrevogavelmente no momento da análise? Os elementos se combinam de maneira precisa com outros elementos em unidades superiores, e *quem poderia dizer que um componente não se torna definitivamente modificado no próprio momento em que é retirado de sua relação com o todo?* Daqui se delineiam as tarefas de uma nova maneira de observar os fenômenos. Estudar-se-ão não mais os elementos isolados, mas as ações dos elementos entre si".<sup>5</sup>

Essa visão se tornará importante quando se fizer referência ao nó nos capítulos seguintes. O nó esvazia-se de qualquer significado se retirado do contexto ao qual pertence, seja de um sistema estrutural específico, seja da cultura técnica e arquitetônica em que surge e se insere.

Sobre a posição de Francastel, Spadoni comenta, introduzindo também a idéia de Ferrater-Mora:

"A idéia de estrutura pode ser entendida simplificada como apoio ou sustentação e é com este sentido que a tomamos normalmente no campo da

---

<sup>3</sup> Francastel, P. *Nota sobre o emprego do termo "Estrutura" em história da arte*, in Bastide, R., *Usos e sentidos do termo estrutura*, São Paulo, EdUSP, 1971

<sup>4</sup> Wieser, Wolfgang. *Organismos, estruturas, máquinas*. São Paulo, Cultrix, 1972

<sup>5</sup> idem

construção. Num sentido mais genérico e completo ela '*quer designar um conjunto de termos solidários entre si, ou cujas partes são funções umas das outras. Diz-se por isso que uma estrutura está composta por membros mais do que por partes, e que é um todo [integrado] mais do que uma soma.*' Mas estrutura também pode ser sinônimo de forma, quando esta se referir à essência ou ao conteúdo de algo e neste sentido podemos fazer uso da metáfora de que um ser toma forma quando encontra sua estrutura".<sup>6</sup>

Cardellach define princípio estrutural como aquele pelo qual os seres de todos os reinos naturais, por estarem sujeitos às leis das forças externas (ação da gravidade, pressões do vento, etc.), satisfazem a um princípio mecânico, sem o qual não seria possível sua estabilidade e sua resistência:

"significamos aqui, por princípio de estrutura, a propriedade universal que têm os seres de estarem formados pelo que, em linguagem mecânica, poderíamos chamar de matéria ativa e matéria passiva, ou seja, matéria encarregada da estática do ser, e matéria sem a qual aquela estática continuaria se verificando".<sup>7</sup>

Banham identifica três causas com origem no século XIX que compõem o cenário de desenvolvimento arquitetônico do século XX. Dentre eles, para a linha de raciocínio pertinente a essa reflexão, destaca-se a "abordagem racionalista, estrutural...":

"1) o sentido da responsabilidade de um arquiteto para com a sociedade em que ele se encontra...", com origem em Pugin, Ruskin, Morris até a Werkbund; 2) abordagem racionalista, ou estrutural (grifo meu), da arquitetura, novamente de procedência inglesa, de Willis, mas elaborada na França por Violet-le-Duc e codificada na magistral *Histoire* de Auguste Choisy, bem no final do século; embora

53

---

<sup>6</sup> Spadoni, F., op. cit.

<sup>7</sup> Cardellach, Félix. *Filosofía de las estructuras*. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1970 (1910): "*Significamos aquí, por principio de estructura, la propiedad universal que tienen los seres de estar formados por lo que, en lenguaje mecánico, podríamos llamar materia activa y materia pasiva, es decir, materia encargada de la estática del ser, y materia sin la cual aquella estática continuaría verificandose*".

a tradição paralela na Alemanha não tenha grande expoente desde Gottfried Semper; 3) “a tradição de instrução acadêmica...”<sup>8</sup>

A partir do século XIX a questão estrutural se transforma e passa a determinar o desenvolvimento das formas arquitetônicas, que usufruem dos novos meios técnicos proporcionados pela indústria.

---

<sup>8</sup> Banham, R., op. cit.

## PROGRESSO TÉCNICO – FERRO E AÇO NA ARQUITETURA

“... as ilimitadas possibilidades de design oferecidas pelas teorias científicas de construção, a execução tornada possível por novos materiais de construção e as técnicas atuais, e os temas arquitetônicos se tornando cada vez mais complexos em razão do desenvolvimento social e econômico, abre horizontes de possibilidades sem precedentes para a construção se comparadas ao que a humanidade alcançou dos tempo pré-históricos até o presente”.<sup>9</sup> (Pier Luigi Nervi, 1961)

Nervi, reconhecido por suas estruturas em concreto, refere-se aos materiais como um todo de transformações tecnológicas que intervieram nas técnicas construtivas. A mudança radical na mentalidade dos projetistas (designers) deve-se à introdução do ferro e do aço na produção de edifícios (e máquinas, sem as quais não há industrialização), depois de milênios de utilização em utensílios e equipamentos bélicos, estes, em grande parte, responsáveis pelo interesse humano nesses materiais.

55

Frampton, na sua “História crítica da arquitetura moderna”, abre o capítulo 3, “Transformações técnicas: engenharia estrutural, 1775-1939”, com uma citação de Walter Benjamin, da qual se extrai o trecho a seguir:

“Com o ferro, um material de construção artificial aparecia pela primeira vez na história da arquitetura. Ele passou por uma evolução cujo ritmo se acelerou no decorrer do século. Recebeu seu impulso definitivo quando ficou claro que a locomotiva, que estivera sendo experimentada desde o fim da década de 1820, só podia ser utilizada em trilhos de ferro. O trilho era a primeira unidade de construção,

---

<sup>9</sup> Nervi, P. L. apud Frampton, K., 1996. “... the unlimited possibilities of design offered by scientific theories of construction, the executions made possible by new building materials and current techniques, and the architectural themes growing ever greater and more complex as dictated by our social and economic developments, open horizons of unprecedented possibilities of construction as compared to what humanity has achieved from prehistoric times to the present”

o precursor da longarina. O ferro era evitado nas moradias, mas usado em galerias, salões de exposição, estações ferroviárias e edifícios com finalidades transitórias”.<sup>10</sup>

Desde o século XVIII há uma intensificação do uso do ferro fundido e forjado em estruturas de engenharia. As primeiras aplicações ocorrem em estruturas de pontes. A primeira delas, de 1777, sobre o rio Severn, na Inglaterra, vence um vão de 30,5m. Vários autores relatam a história da construção de pontes como experiência no progresso da técnica, não cabendo aqui repeti-la. Basta um exemplo para demonstrar a rapidez dos acontecimentos. Na década de 90 daquele século, sobre o mesmo Severn, ergueu-se uma ponte com 39,5m de vão com 176 toneladas de ferro, contra as 384 utilizadas na primeira ponte.<sup>11</sup>



3. Ponte sobre o rio Severn, próximo à cidade de Coalbrookdale, Inglaterra, 1777  
Pevsner, 1996

56

Também uma série de construções fabris passam a dispor do ferro. Aproveitam-se do desenvolvimento de vigas e trilhos de ferro fundido e forjado, da busca de elementos cada vez mais esbeltos para vencer maiores vãos.

Segundo Yopanan Rebello,

“...começa a ocorrer uma emergente necessidade de construções industriais e com ela uma nova proposta de composição estrutural aparece: o esqueleto formado por vigas e pilares... Provavelmente a mais antiga estrutura deve ter sido realizada em 1801 no projeto da Fiação Phillip and Lee, em Stanford na Inglaterra,

---

<sup>10</sup> Benjamin, W. apud Frampton, K., op. cit., 1997

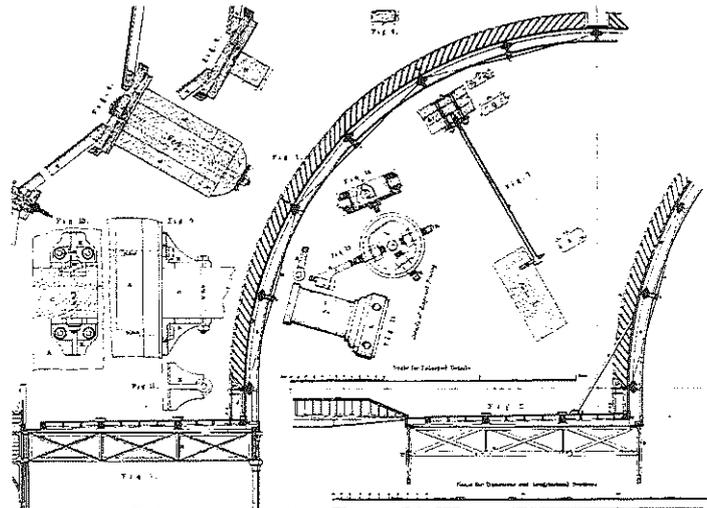
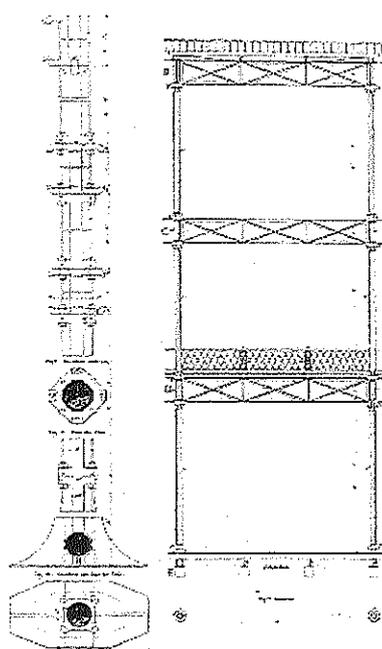
<sup>11</sup> Frampton, K., op. cit., 1997

com projeto de dois industriais, Boulton e James Watt... As vigas eram compostas de perfil I metálico, que venciam um vão de 12,6m".<sup>12</sup>

Frampton afirma que

"em meados do século [XIX] colunas de ferro fundido e trilhos de ferro forjado, usados junto com o envidraçamento modular, tornaram-se a técnica padrão da rápida pré-fabricação e construção de centros urbanos de distribuição: mercados, casas de câmbio e galerias".<sup>13</sup>

Benevolo traça os progressos da engenharia na segunda metade do século XIX através das Exposições Universais, a iniciar por 1851 com o emblemático Crystal Palace, já comentado no capítulo anterior.



5. Joseph Paxton, Crystal Palace, 1851: detalhes construtivos Frampton, 1996

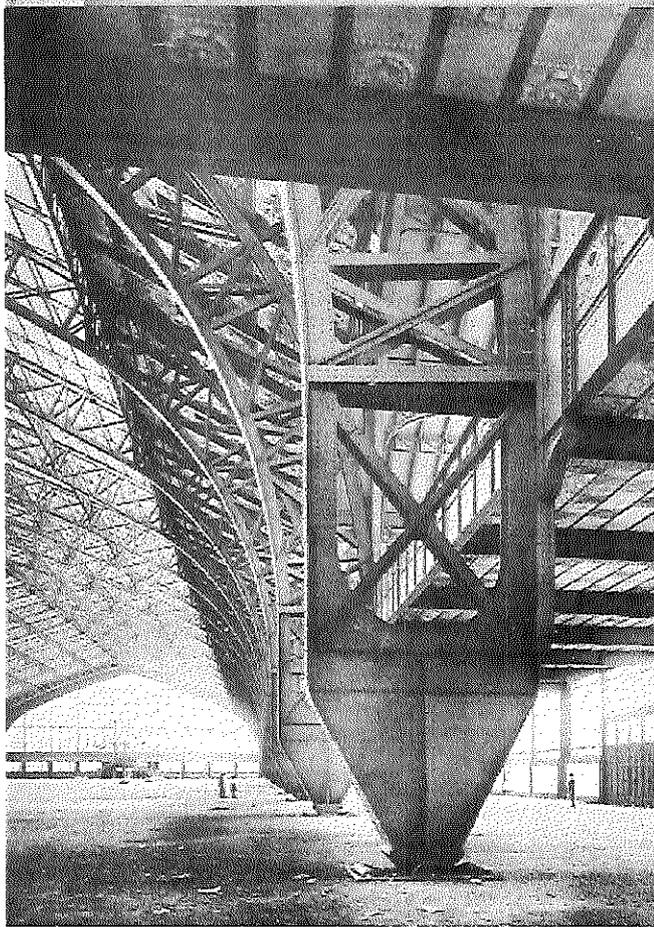
4. Joseph Paxton, Crystal Palace, 1851: pórticos (esqueleto) Villalba, 1996

As exposições se sucedem, num demonstrativo de "inspiração" na iniciativa de 51. A próxima exposição de destaque ocorre em Paris no ano de 1889, e Benevolo a coloca como a principal. Dois edifícios alcançam notoriedade: a Halle

<sup>12</sup> Rebello, Y. C. P. *Uma proposta de ensino da concepção estrutural*. Tese, FAU-USP, 1999

<sup>13</sup> Frampton, K., op. cit., 1997

des Machines, uma nave de 115x420m, composta por uma sucessão de arcos de ferro; e a torre de 300m, construída por Eiffel.



6. V. Contamin engenheiro, com assistência de Dutert, arquiteto. Halle des Machines, 1889  
Pevsner

Essas obras denotam como a "arquitetura dos engenheiros" foi responsável por alterar o pensamento estrutural que construiria os princípios da arquitetura modernista. No entanto, os arquitetos se demoram a se livrar dos milênios no emprego de materiais que trabalham à compressão.

Cardellach propõe que se compreenda a evolução do "princípio estrutural" através da observação de construções de mesma natureza. Relembra as pontes de pedra, pontes romanas e persas, da Idade Média e do Renascimento, para deslumbrar-se com as pontes modernas:

"... ao contemplar como o arco, a princípio simples buraco em grosseiro e enorme maciço de alvenaria, vai se tornando ideal até converter-se (...) em delicadíssimo aro sobre o qual descansa o tabuleiro pelo intermédio de órgãos isolados, constituindo um conjunto de primorosa filigrana tal com renda, com suas

pontas apenas molhadas pela superfície da água, revela-nos claramente a gênese da estrutura, a lei de 'aligeiramento' de massas que, tendendo a esvaziar mais e mais os maciços, acabou por deixar nas construções unicamente suas linhas de firmeza estrita; lei de espiritualização, enfim, cujo *desideratum* se apoia no emprego da mínima quantidade de material, fazendo-a trabalhar uniformemente em todas as regiões o máximo de sua resistência".<sup>14</sup>

As mudanças que se vêm gestando desde o século XVIII e desencadeiam no XIX com uma revolução na concepção e construção de edifícios. O desenvolvimento progressivo dos materiais e a sofisticação dos cálculos causam uma transferência na abordagem da questão estrutural: o ferro permite o raciocínio em função dos esforços de tração, superando a compressão.

A esse respeito, Rebello afirma:

"Até então, predominava nos edifícios públicos o uso de uma arquitetura embasada nos cânones da arquitetura clássica. Os avanços da ciência das estruturas, principalmente na área da estática das construções, com a determinação precisa dos esforços em vigas e pórticos, assim como a análise correta das tensões nas suas seções, permitiu que as soluções arquitetônicas dos edifícios públicos, movidas por arquitetos de vanguarda, evoluíssem para o uso de estrutura em esqueleto ..."<sup>15</sup>

59

Algumas causas contribuíram:

- a Intenção de aplicar teorias científicas, que se intensifica ao longo do século XIX;

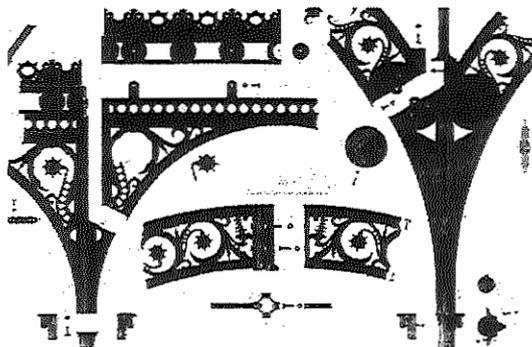
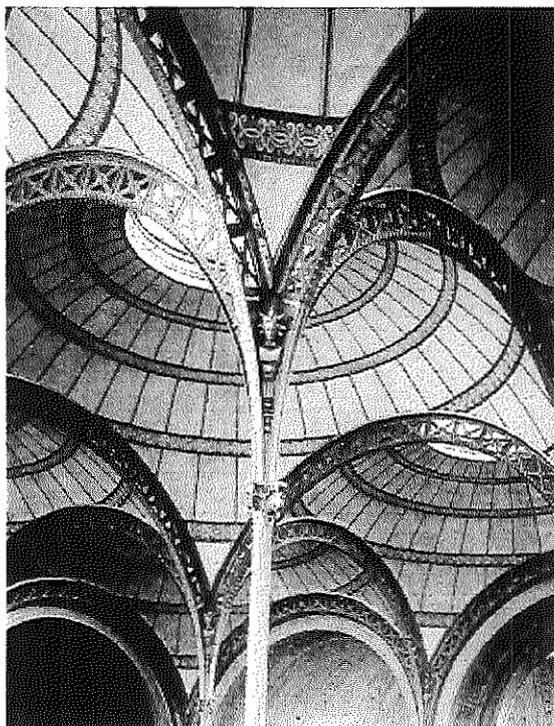
---

<sup>14</sup> Cardellach, F. *Filosofía de las estructuras*. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1970 (1910): *'...al contemplar cómo el arco, en un principio simple taladro en un grosero y enorme macizo de mampostería, va idealizándose hasta convertirse ... en delgadísimo aro sobre el que descansa el tablero por el intermedio de órganos aislados, constituyendo un conjunto de primorosa filigranacual blonda o encaje, com sus puntas apenas mojadas por la superficie del agua, se nos revelará claramente la génesis de estructura, la leyde aligeramiento de masas que, tendiendo a vaciar más y más los macizos, há acabado por dejar en las construcciones únicamente sus líneas de estricta firmeza; ley de espiritualización, en fin, cuyo 'desideratum' estriba en el empleo de la mínima cantidad de materia, haciéndola trabajar uniformemente en todas las regiones al máximo de su resistencia.'*

<sup>15</sup> Rebello, Y., op. cit.

- a implantação de processos industriais na fabricação de todos os produtos suscetíveis de serem comercializados, entre os quais incluem-se os materiais de construção;
- crescimento das populações urbanas e a decorrente de novas edificações;
- grande disponibilidade de ferro;
- aparecimento de fontes e meios de transformação de energia, com os motores;
- grande demanda de infra-estruturas.<sup>16</sup>

Labrouste, ainda sob a influência estilística da École des Beaux Arts, projeta duas bibliotecas notáveis pelo uso de estruturas delgadas de ferro. Na Biblioteca de St Geneviève, de 1858, monta arcos metálicos sobre colunas de 30 centímetros de diâmetro e 9,6 metros de altura. No entanto, adiciona as exigências decorativas e supérfluas daquele momento. Na Biblioteca Nacional da França aplica sistema semelhante. São estruturas já bastante esbeltas.



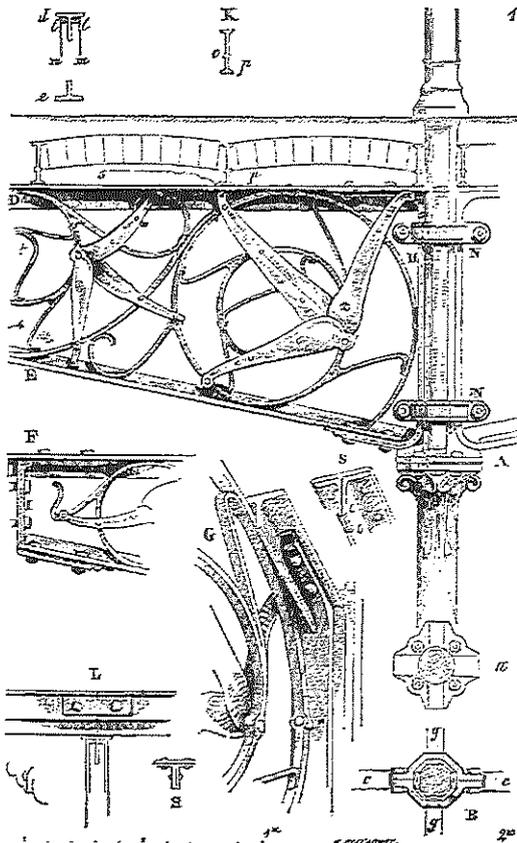
8. Henri Labrouste, Biblioteca de Ste. Genèviève – 1843-1850: Detalhes construtivos Villalba, 1996

“...uma estrutura de ferro revelada abertamente. Até então, as estruturas de ferro eram disfarçadas por um revestimento de pedra ou gesso”(Pevsner, 1996)

7. Henri Labrouste, Biblioteca Nacional da França – 1858 Villalba, 1996

<sup>16</sup> Villalba, Antonio Castro. *Historia de la construcción arquitectónica*. Barcelona, Edicions UPC, 1996

Cada vez mais a prática dominante passa a ser o uso da estrutura independente, contrariando a prática então vigente entre arquitetos de sobreposição de materiais, tijolos ou pedras. Em um primeiro momento o ferro serve como substituto aos materiais então comuns, muitos vezes sendo revestido. Em meados do século passa a ser o material de construção em toda a estrutura, à qual se juntam outros materiais liberados de função resistente.



Viollet le Duc, extraído dos edifícios medievais os conceitos de estrutura, interpreta as possibilidades lingüísticas da utilização do aço, que surge em 1855. Prega a busca da verdade arquitetônica segundo procedimentos de construção, utilizando materiais de acordo com suas qualidades e propriedades.

61

9. Viollet le Duc: detalhes mostrando uma construção em ferro fundido, 1872  
Pevsner, 1996

As armações, identificadas por analogia com esqueletos, proporcionam:

- construções mais leves, com menos uso de material;
- alcance de maiores vãos;
- facilidade e agilidade nos processos de construção nos canteiros de obra.

É importante realçar que as transformações evidenciadas pelo desenvolvimento tecnológico, intensificado no século XIX, altera a concepção do

edifício. Ocorre uma mudança de conceito estrutural, que vai influenciar todo o desenvolvimento da arquitetura modernista até nossos dias.

“...quando estrutura e construção aparentam estar mutuamente interdependentes, assim como no Crystal Palace de Paxton de 1851, o potencial tectônico do todo pareceria derivar da euritmia de suas partes e da articulação de suas juntas.”<sup>17</sup>

Para a Art Nouveau, o ferro é um material decorativo e estrutural. Pevsner considera Viollet-le-Duc o precursor, recomendando seu uso em ambos as funções. “...deve-se reservar à Art Nouveau o mérito da descoberta das possibilidades estéticas do ferro com o vidro.”<sup>18</sup>

Victor Horta, na Maison du Peuple, de 1896, põe à mostra a estrutura de ferro, “e o ferro fornece a música envolvendo a estrutura e bordando o tema eterno da Art Nouveau, a curva...”<sup>19</sup>



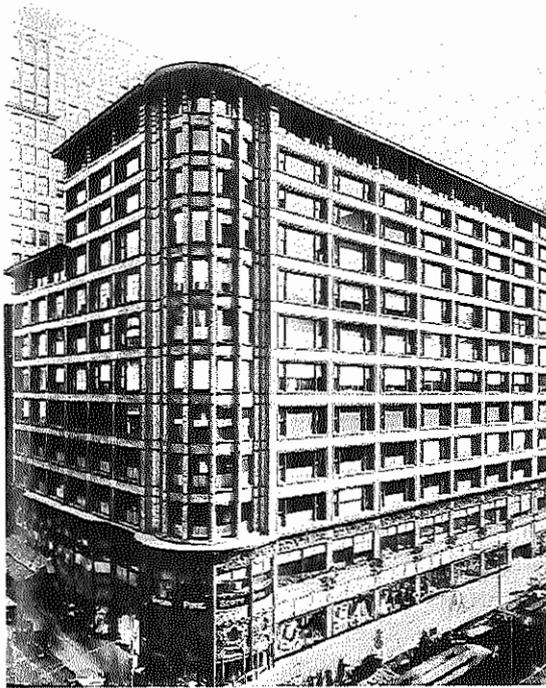
10. Victor Horta, Maison du Peuple, 1896  
Pevsner

---

<sup>17</sup> Frampton, K., op. cit., 1997

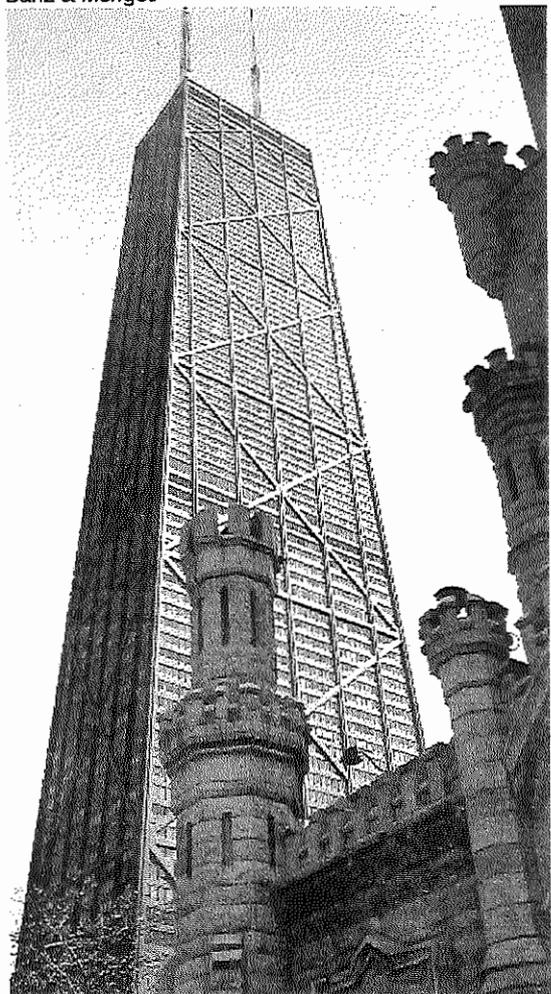
<sup>18</sup> Pevsner, N., op. cit.

<sup>19</sup> idem



11. Louis Sullivan, loja Carson Pirie Scott, 1899-1904  
Pevsner

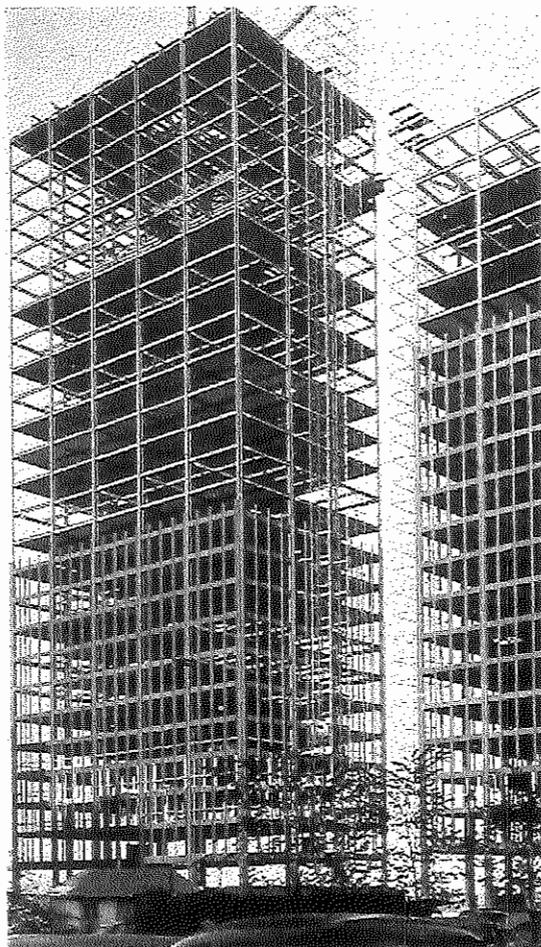
12. Skidmore, Owings and Merrill, John Hancock Center, 1969  
Danz & Menges



Chicago torna-se um grande centro de difusão das estruturas metálicas a partir da reconstrução de sua área central após o grande incêndio de 1871. O uso do ferro e depois do aço se converteu em regra, criando uma tradição de construção de edifícios altos, como se confirma até os mais recentes John Hancock Center, de 1969 ou mais recentemente o gigantesco Sears Tower, com aproximadamente 450m de altura, ambos projetos de Skidmore, Owings and Merrill executados em esqueletos de aço.

Um importante personagem foi Mies van der Rohe, e muito se poderia falar sobre sua obra. Entretanto, toma-se aqui as palavras do professor Hugo Segawa para sintetizar seu significado para as estruturas em aço:

"Mies foi o responsável pelo refinamento do uso do aço na arquitetura - uma das mais triunfantes expressões do conceito da arquitetura como produto da estrutura".<sup>20</sup>



13. Mies van der Rohe, 860/880 Lake Shore Drive, Chicago, 1948-51: montagem do edifício Cohen

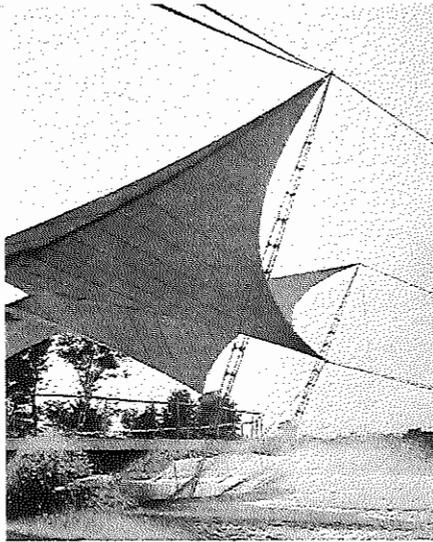


14. Mies van der Rohe, Seagram Building, Nova Iorque, 1954-58 Cohen

Surgem outros tipos estruturais. As estruturas espaciais são, por uma ótica simplificada, uma forma de tornar mais leves as estruturas, como será visto adiante, no capítulo 3. A extrema leveza estrutural com o uso do aço vai ocorrer nas estruturas tensionadas, cujo máximo exponencial ocorre nas tendas de Frei Otto. Os membros estruturais expressivos são cabos.

---

<sup>20</sup> Segawa, H. *Aço na arquitetura brasileira: ainda pré-miesiana?* In *Cadernos Brasileiros de Arquitetura*, São Paulo, 1991

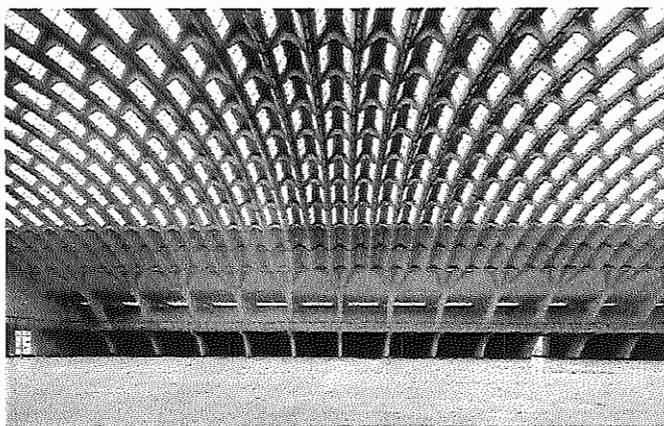


15, 16 Frei Otto, Pista de Baile, 1957  
Roland

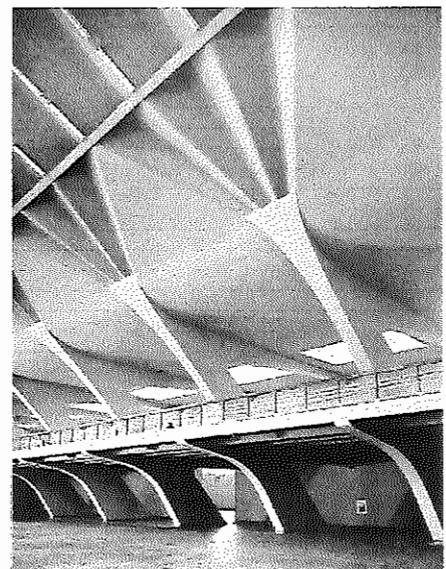
Poder-se-ia continuar relacionando arquitetos e obras que utilizaram o as estruturas metálicas, especialmente o aço. Lembre-se nomes como Richard Buckminster Fuller, Kenzo Tange, Norman Foster, Richard Rogers, Nicholas Grinshaw, entre muitos que contribuíram para o enriquecimento da linguagem do material.

65

Caberia também, neste trabalho, um levantamento do processo de desenvolvimento do concreto armado. Entretanto, optou-se por concentrá-lo no estudo das estruturas metálicas, relacionado diretamente aos casos estudados nos capítulos 3 e 4.



17, 18 Pier Luigi Nervi  
Joedicke (1958)



Cabe ressaltar a importância das obras de Hennebique, Freyssinet, Torroja, Nervi e outros (mais recentemente Calatrava, pela analogia clara com a ossatura), importantes referências do raciocínio estrutural para o desenvolvimento arquitetônico do “esqueleto” em concreto. O concreto armado retém as atenções nas primeiras décadas do século XX, com o aço desempenhando papel “secundário” nas armaduras, principalmente referido aos compromissos de tração.

Esse período de menor utilização do material na utilização civil do aço muito se deve ao deslocamento do material para a utilização bélica nas duas grandes guerras. Durante o período, ocorre grande desenvolvimento tecnológico forçado pela necessidade de produzir navios, aviões e canhões. Findadas as guerras, essa tecnologia retorna, fortalecida, para a construção de edifícios.

## O NÓ E AS ESTRUTURAS ESPACIAIS

# 4

“Em tempos góticos, os arquitetos construíam com pedras sólidas. Hoje, podemos construir com pedras ocas. Os espaços definidos pelos componentes de uma estrutura são tão importantes quanto os próprios componentes. Em termos de escala, esses espaços vão desde os vazios de um painel isolante, vazios para que o ar, a luz e o calor possam circular, até espaços suficientemente grandes para que possamos caminhar por eles e neles viver. O desejo de expressar positivamente os vazios no projeto de uma estrutura evidencia-se no crescente interesse e trabalho voltados para o desenvolvimento das estruturas espaciais. As formas experimentadas provêm de um conhecimento mais íntimo da natureza e da expansão da constante busca de ordem. Os hábitos de design que levam ao ocultamento da estrutura não têm lugar nessa ordem implícita. Esses hábitos retardam o desenvolvimento de uma arte. Acredito que em arquitetura, como nas outras artes, o artista conserva instintivamente as marcas que revelam o modo como uma coisa foi feita. A sensação de que nossa arquitetura atual precisa

embelezar-se procede, em parte, de nossa tendência a manter as articulações ocultas, dissimulando a maneira como se juntam as partes.” (Louis Kahn)<sup>1</sup>

Vimos, nos capítulos anteriores, como progresso da tecnologia e da indústria trouxe também para a construção civil a possibilidade (e necessidade) de produzir componentes e sistemas com recursos industriais. A experiência do Palácio de Cristal, em 1851, proporcionou profundas mudanças nas metodologias de projeto e de produção de edifícios. A utilização de componentes industrializados então inaugurada implica na alteração dos métodos tradicionais de construção para uma forma específica: a **montagem**.

A montagem de edifícios exige sofisticação das formas de juntar suas partes. Isto abre um importante campo de atuação em projeto (design) para arquitetos e desenhistas industriais. Aos encaixes – ou **junções** – reserva-se uma parcela significativa da atenção dispensada nos projetos de elementos industrializados. A construção através da montagem exige dos projetistas uma visão dos componentes como produtos acabados, sem necessidade de manipulação que altere suas características durante a obra. Para que haja melhor desempenho no canteiro de obra, as partes do edifício, antecipadamente preparadas, devem se encaixar adequadamente. Esse “encaixar” só ocorre com um bom desenvolvimento, em projeto, do desenho das junções. Por projeto, nesse caso, deve-se entender desenho industrial. O componente é um produto pronto para utilização, produzido em fábrica, usina ou indústria. A junção pode ser uma peça com a função específica de união das partes ou estar “embutida” nas partes a serem juntadas. Para que a montagem se realize há que haver regras de projeto, convenções, para as junções. Nas décadas de 50, 60 e 70 houve uma mobilização em torno da criação de modulações, padronização de dimensões e geometria, de forma a garantir a conectividade das peças. Os sistemas abertos, como definidos no Capítulo 1, presumem a utilização destas convenções para que diferentes fabricantes produzam partes a serem unidas em um mesmo edifício.

68

---

<sup>1</sup> Kahn, L. apud Frampton, K., op. cit., 1997

O desenvolvimento da indústria levou ao aprimoramento dos produtos acabados e das interfaces entre eles na construção civil. Segundo Bender, "sem um bom projeto das juntas, os materiais pré-acabados requerem posteriormente ser acabados manualmente mediante operações tais como ajustes e pintura nas placas de gesso, e a colocação de perfis de alumínio extrudado nos painéis de compensado".<sup>2</sup> Para Dorfles, "... o objeto produzido industrialmente deve ser concebido como acabado no próprio ato da sua produção, não devendo submeter-se a ulteriores manipulações que melhorem ou modifiquem o seu aspecto".<sup>3</sup>

Dois noções devem ser consideradas com relação às junções: a precisão e a tolerância. Há sempre uma diferença entre as dimensões projetadas e as edificadas, ou seja, entre o desenho-guia representado pelo projeto e a realização tridimensional na obra. Lembra-se sempre dos artefatos mecânicos quando se faz referência à precisão. Toda máquina necessita de uma folga para que funcione, o que não afeta, necessariamente, sua precisão. Tal folga é também necessária para que as partes do edifício se juntem. Para que a junção seja eficaz, adota-se uma tolerância dimensional de fabricação, principalmente quando os produtos possuem origens distintas.

69

Além disso, é necessário prever tolerâncias adequadas às propriedades físicas e químicas dos materiais que compõem as peças, como dilatação e corrosão. Não somente a união deve ser permitida como a trabalhabilidade e movimentação dos materiais, especialmente quando se trata de materiais de distintos: metal/vidro, concreto/vidro, diferentes metais ou mesmo aços com características de composição distintas.

---

<sup>2</sup> Bender, R. *Una visión de la construcción industrializada*. Barcelona, Gili, 1976. "Sin un buen diseño de juntas, los materiales preacabados requieren posteriormente ser acabados manualmente mediante operaciones tales como ajustado y pintado en las placas de yeso, y la colocación de perfiles de aluminio extrusionado en los paneles de contrachapado".

<sup>3</sup> Dorfles, G. *O design industrial e sua estética*. Lisboa, Presença/Martins Fontes, s.d.

Até agora o termo junção foi utilizado de uma forma genérica para componentes industrializados. A próxima seção trata do caso específico da junção enquanto união de componentes estruturais.

## O NÓ

A questão fundamental de design nos projetos de sistemas construtivos industrializados está no desenvolvimento das interfaces entre os subsistemas, ou seja, as junções. Transpondo o problema para a estrutura, o nó é responsável pela junção dos membros resistentes (o nó é um tipo específico de junção) e que vai além, nos sistemas industrializados, do design entendido somente como cálculo estrutural.

De uma maneira geral há uma carência de conceitos com relação ao nó (ou mesmo de definições do termo “nó”) na bibliografia consultada. Há muitas publicações que tratam do design das estruturas e do edifício, onde são abordados critérios e ferramentas de cálculo e avaliações de desempenho estrutural; mas há poucas referências ao design dos sistemas e dos nós, geralmente, registros fotográficos de experiências realizadas.

Para a Engenharia, há uma simplificação do conceito, considerado como um recurso de cálculo estrutural. Schiel, visando o estudo de resistência dos materiais em construções ou máquinas, idealiza os componentes da estrutura para simplificar o problema. Considera o nó, que é um dos componentes, como “a articulação em que são juntadas várias barras simples pelas suas extremidades”.<sup>4</sup> Os nós são os elementos que fazem as ligações entre as barras, transmitindo os esforços pela estrutura.

---

<sup>4</sup> Schiel, F. *Introdução à resistência dos materiais*. São Paulo, USP, Escola de Engenharia de São Carlos, 1970

Para Beer e Johnston, “quando várias barras retas são unidas por suas extremidades para formar uma configuração tridimensional, a estrutura obtida é chamada de *treliça espacial*”<sup>5</sup>, estudada na seção seguinte.

O que se propõe neste estudo é a observação desse elemento estrutural como instrumento de “organização” da forma e instrumento que possibilite liberdade de concepção arquitetônica. Para a engenharia, calcula-se e dimensiona-se barras, cuja união ocorre no nó. Ao projeto arquitetônico permite-se “organizar” o desenho dessas barras pelo desenho do nó, como veremos adiante.

Spadoni fornece uma identificação precisa da questão:

“O desenvolvimento do raciocínio estrutural, favorecido pelas conquistas tecnológicas, veio abrir um campo de especulação para o projeto onde o esqueleto era parte fundamental da razão de ser arquitetônica. Frampton ... vai citar a ênfase na junção como o momento fundamental desta arquitetura, citando casos clássicos da arquitetura tradicional. É notório que esteja justamente no nó, ou conexão, a ênfase técnica que as estruturas desenvolveram, em especial desde o concreto e aço. Sobre este nó, que passou a ser interpretado como elemento, constituiu-se grande parte do raciocínio técnico contemporâneo, por querer representar mais ainda do que a visão ontológica, a real possibilidade da arquitetura – ou de uma construção – articular-se em suas partes e esta imagem transformou-se também em figura, num período onde a arquitetura precisava do elemento para significar, estivesse ele dado pelo pensamento formal ou pela razão técnica”.<sup>6</sup>

71

---

<sup>5</sup> Beer, F. P.; Johnston Jr., E. R. *Mecânica vetorial para engenheiros: estática*. São Paulo, McGraw-Hill, 1980

<sup>6</sup> Spadoni, F. op. cit.

## ESTRUTURA ESPACIAL

Conforme descrito no Capítulo 2, as formas estruturais se transformaram com a diminuição da quantidade de materiais resistentes e com a sofisticação destes e de seus cálculos. Tal transformação nos leva a considerar as estruturas espaciais como resultado dos critérios adotados no desenvolvimento das estruturas. Para Bender, “no que se refere às estruturas, está-se conseguindo maior rendimento com menor esforço. As estruturas são cada mais leves à medida que seus materiais são cada vez mais resistentes, as montagens otimizadas e a organização mais sofisticada”.<sup>7</sup>

Os estudos consultados sobre estruturas espaciais são, em sua maioria, ensaios sobre os aspectos da engenharia estrutural e cálculo, ou vagas referências às possibilidades de configuração arquitetônica. As referências críticas ou estudos estéticos são pouco aprofundados.

As estruturas espaciais incorporam o desenvolvimento tecnológico em estruturas, principalmente em relação aos “materiais, sua estruturação e cálculo”<sup>8</sup>. Mas além disso, é o resultado do relacionamento e aproximação entre arquitetura e indústria, pelas características dos métodos de projeto e de produção. Por se tratar de produto industrializado, seus componentes passam, necessariamente, pelas etapas de desenho industrial.

Margarit e Buxadé dividem os tipos estruturais em dois conjuntos. O primeiro onde a estrutura é formada por barras, ou seja, seu comprimento é maior que as outras dimensões. A segunda é formada por lâminas em que a espessura é de ordem inferior às outras dimensões. O primeiro caso é subdividido em sistemas em que a união das barras é feita por nós rígidos ou articulados. “Dentro das estruturas formadas por barras com nós articulados que se desenvolvem e se

---

<sup>7</sup> Bender, R. op. cit. *“En lo que se refiere a las estructuras, se está consiguiendo mayor rendimiento con menor esfuerzo. Las estructuras son cada vez más ligeras a medida que sus materiales son cada vez más resistentes, los montajes óptimos y la organización más sofisticada”*.

<sup>8</sup> Margarit, J. e Buxadé, C. *Las mallas estructurales en arquitectura*, Barcelona, Gili, 1972

calculam no espaço, o termo malha espacial se refere àquelas que se geram por repetição de um elemento geométrico”,<sup>9</sup> geralmente o tetraedro.

O princípio básico da estrutura espacial é o que alguns autores chamam de desmaterialização. Makowski define esse termo como a diminuição da quantidade de material utilizado por unidade de potência funcional, de capacidade de produção ou de volume ocupado. Onde haveria massa com a utilização das estruturas ditas convencionais, há a transmissão e a distribuição de um campo de forças espacial, conferindo à estrutura grande resistência às solicitações exteriores.

Makowski divide as estruturas espaciais em três categorias:

- “1) as tramas, constituídas por um conjunto de barras unidas entre si por nós;
- 2) as estruturas de lâminas metálicas nas quais os revestimentos de fechamento participam na resistência aos esforços solicitantes;
- 3) as construções de coberturas suspensas”.<sup>10</sup>

Destas categorias, a primeira e a última referem-se a casos onde a questão do design do nó é mais claramente observável. Em ambas a forma da junção determina diferentes formas arquitetônicas: coberturas planas, abóbadas ou cúpulas na primeira; na segunda principalmente membranas sustentadas por cabos. Este trabalho concentra-se no estudo da primeira categoria, ou seja, estruturas compostas por barras (elementos com uma das dimensões muito maior que a outra: comprimento x largura ou diâmetro) unidas por conectores.

73

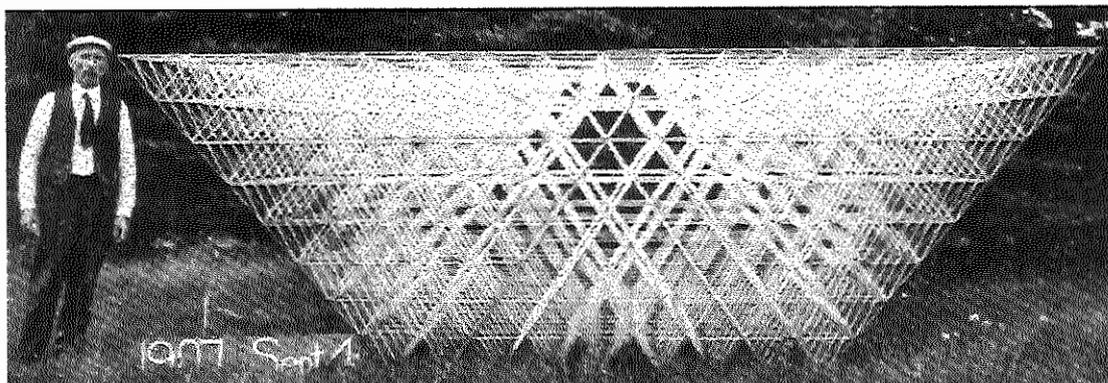
A primeira estrutura a utilizar o sistema de barras e nós que se tem conhecimento é atribuída a Alexander Graham Bell, e o primeiro modelo data de

---

<sup>9</sup> idem: *“Dentro de las estructuras formadas por barras con nudos articulados y que se desarrollen y calculan en el espacio, el término malha espacial se refiere a aquellas que se generan por repetición de un elemento geométrico”*.

<sup>10</sup> Makowski, Z.S. *Estructuras espaciales de acero*. Barcelona, Gili, 1968. Título original: *Steel space structures*, Dusseldorf, Verlag Stahleisen. “1. Los entramados, constituídos por un conjunto de barras unidas entre sí por nudos. 2. Las estructuras de láminas metálicas en las que los revestimientos de cierre participan en la resistencia a los esfuerzos solicitantes. 3. Las construcciones de cubiertas colgantes”.

1907. No entanto, há estruturas anteriores que utilizam o princípio de distribuir os esforços em várias direções e não somente ortogonalmente.



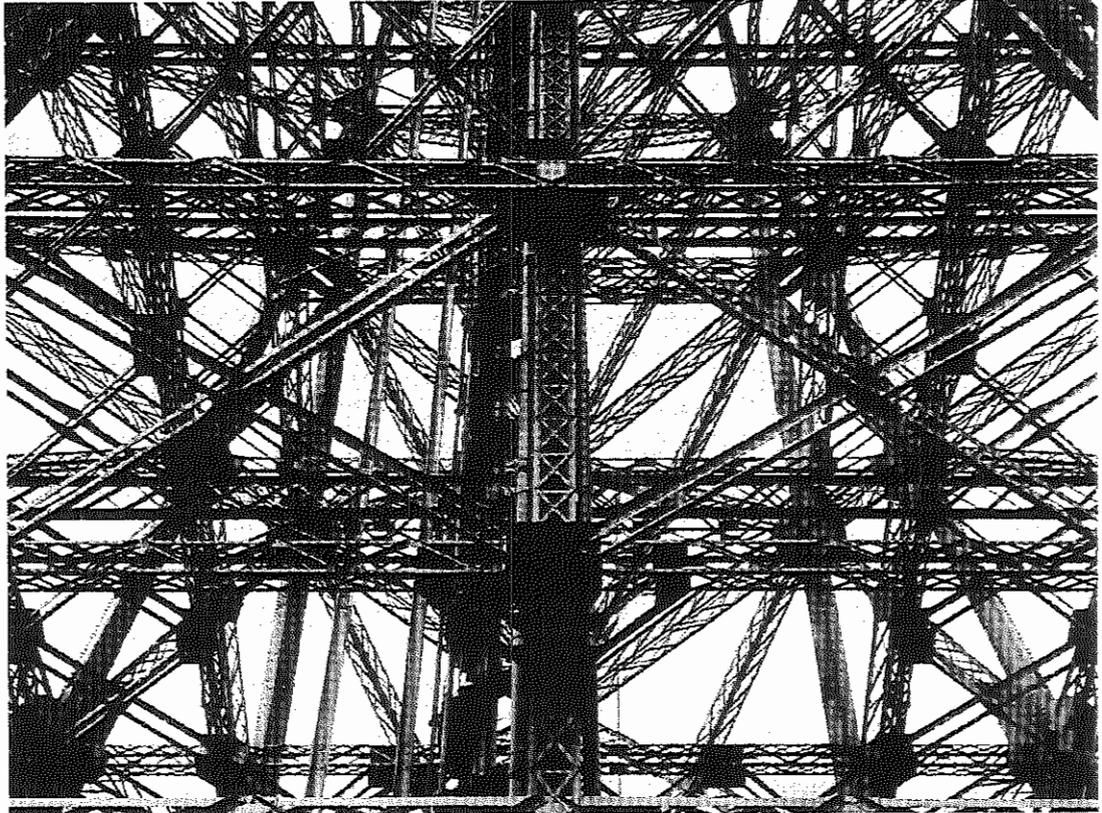
19. Alexander Graham Bell, primeira estrutura espacial – 1907  
Makowski, 1968

Pode-se citar como exemplo de estrutura distribuída no espaço a Torre Eiffel, um edifício caracterizado por ser “simplesmente” uma estrutura distribuída em três dimensões. Sua montagem é feita com barras, que por sua vez são treliças espaciais de quatro faces, mas ainda não utilizam a composição por repetição de elementos tridimensionais, como tetraedros ou pirâmides. “Ainda antes de chegar a uma sistematização e controle desse tipo estrutural, vivenciamos ambientes determinados por malhas espaciais quando uma série de objetos pertencentes a este tipo estrutural foram reunidos em um lugar concreto ou bem em intentos anteriores de resolver forma e espaços mediante essa tipologia, mal conhecida ainda, mas que apesar deste desconhecimento, deixou soluções formalmente muito válidas nas quais hoje depositamos nossas afeições”,<sup>11</sup> como a própria Torre Eiffel, torres de eletricidade, equipamentos portuários e outros.

74

---

<sup>11</sup> Makowski, Z. S., op. cit.: “Aún antes de llegar a una sistematización y control de este tipo estructural, hemos vivido ambientes determinados por mallas espaciales cuando una serie de objetos pertenecientes a este tipo estructural se han reunido en un lugar concreto o bien en intentos anteriores de resolver forma y espacios mediante esta tipología, mal conocida aún, pero que, a pesar de este desconocimiento, dejó soluciones formalmente muy válidas en las que hoy tenemos puestos todavía nuestros afectos”



20. Gustave Eiffel, Torre – 1889  
Lemoine

O período entre 1907 e 1942, ou seja, entre a primeira estrutura proposta por Bell e a introdução do primeiro sistema comercial de estrutura espacial apresenta uma lacuna na bibliografia consultada. Não há referências a esse tipo de estrutura nesse período, que coincide com o entre-guerras, incluindo-se a Primeira Guerra Mundial, cuja provável causa está no direcionamento da produção do aço para os esforços de guerra

Após a Segunda Guerra Mundial, um novo impulso provocado pela destruição leva a novas propostas de industrialização. Surgem propostas que buscam a massificação da produção, com ampla teorização dos processos de projeto, ou seja, desenho industrial, e de produção, mecanização, racionalização, estandardização.

Segundo Makowski,<sup>12</sup> a partir da década de 40 vemos a proliferação do uso das estruturas espaciais com sua popularização entre engenheiros e arquitetos. Vários fatores influenciaram na eleição do tipo por arquitetos e engenheiros. Via-se a necessidade de tornar as estruturas mais leves, com uso de menor quantidade de material. Ou seja, impunha-se a economia como variável de projeto. Mas é conseqüente de todo o processo de inserção de tecnologias modernas na produção do edifício.

Por outro lado, corria-se o risco de reduzir o projeto a questões produtivas, às quais Argan se contrapõe:

“Por conta própria Konrad Wachsmann empreende uma pesquisa essencialmente teórica, com o objetivo de determinar o que poderíamos chamar de *átomo construtivo*: um, no máximo dois elementos (um segmento e uma articulação nodal) que permitem qualquer combinação construtiva. Evidentemente, a determinação dos elementos é anterior a qualquer intencionalidade projetual; visto que a montagem a seco é tão ou mais simples e rápida que o jogo do *meccano*, o projeto se identifica com a construção: teoricamente, identifica-se também com a montagem e recuperação dos materiais, naturalmente utilizáveis para outras construções”.<sup>13</sup>

76

As estruturas espaciais concentram uma série de premissas estabelecidas para a industrialização das construções:

- Incorporação da pesquisa, do design, de tecnologia, do espírito científico;
- Estabelecimento de padrões;
- Modulação;
- Utilização do menor número possível de elementos construtivos que definam o sistema: nesse caso, barras e nós;
- Produção em série, mecanizada;
- Racionalização do canteiro de obra;

---

<sup>12</sup> Makowski, Z. S., op. cit.

<sup>13</sup> Argan, G. C., op. cit., 1993

- Redução da quantidade de material e de desperdícios;
- Flexibilidade do sistema e do edifício;
- Possibilidade de crescimento do edifício;
- Possibilidade de intervenção do cidadão. Aqui, cabe a crítica de Argan, a respeito das propostas de Wachsmann e, por extensão, aplicável a algumas propostas de industrialização da construção:

“Todos poderão urdir o espaço, como a aranha sua teia; apenas precisarão se munir de segmentos e articulações. Mas essa tessitura do espaço ... exclui qualquer intencionalidade ou finalidade da obra do construtor; sua tarefa, de modo geral, consistirá em aperfeiçoar, se possível e nos limites do possível, a medida, o peso, o material, a componibilidade dos segmentos e articulações, produzidos em série pela indústria”.<sup>14</sup>

Todos os sistemas de estruturas espaciais observam esses fatores, com maior ou menor possibilidade de incorporá-los em projeto, principalmente graças à capacidade tecnológica de cada empresa envolvida.

77

Os critérios adotados para a industrialização das construções no sentido de haver intercâmbio de partes entre diferentes sistemas – padronização de junções, primordialmente – não se aplicam diretamente sobre as estruturas espaciais. Nestes casos, a obtenção de patentes pelos fabricantes “fecha” os sistemas para tal intercâmbio. Mas, como é mostrado adiante, alguns sistemas permitem riqueza de composição formal, flexibilidade de soluções mesmo “fechados” em si mesmos.

As estruturas espaciais possuem ainda características específicas:

- Permitem realizar a cobertura de grandes áreas com o menor número de apoios, ou seja, a mínima intervenção no espaço interno: a planta livre pregada pelos modernistas;

---

<sup>14</sup> Argan, G. C., 1993

- Possibilita a diversificação da forma do objeto arquitetônico: obra aberta;
- Proporcionam uma excepcional liberdade de desenho, uma facilidade construtiva baseada na possibilidade de justaposição de unidades pré-fabricadas. Makowski acredita que há tanto vantagens técnicas como artísticas.<sup>15</sup>

Em consonância com esse tipo de evolução formal e tecnológica, Margarit e Buxadé apresentam a possibilidade de que as obras construídas com sistemas de estruturas espaciais apresentem um caráter menos perene, maiores possibilidades de controle ambiental e de crescimento progressivo.<sup>16</sup>

Makowski relaciona o crescimento de popularidade das estruturas espaciais de grelha dupla (utiliza o termo *double layer grids*), ou seja, duas grelhas ortogonais sobrepostas interligadas por barras diagonais, por serem tridimensionais e graças a isso podem distribuir os esforços externos em todas as direções (*omnidirectionally*). Makowski ressalta suas qualidades estruturais:

- repartição das cargas, distribuição das forças atuantes;
- as tensões se igualam, em sua maior parte, e se constituem um campo de forças homogêneo, sem pontos de sobrecarga grande;
- as tensões internas diminuem, e com elas as seções necessárias dos elementos tracionados ou comprimidos;
- rigidez, pequenas deflexões;
- resistência ao fogo maior que os sistemas convencionais;
- simplicidade e rapidez para erguer a estrutura;
- expandibilidade, desmontabilidade, liberdade de localização dos apoios;
- espaço entre as grelhas podem ser utilizados para instalações mecânicas e elétricas e sua respectiva manutenção (aquecimento, refrigeração, ventilação);
- maior resistência a ataques aéreos e terroristas, assim como terremotos (sic);

---

<sup>15</sup> Makowski, Z. S., op. cit.

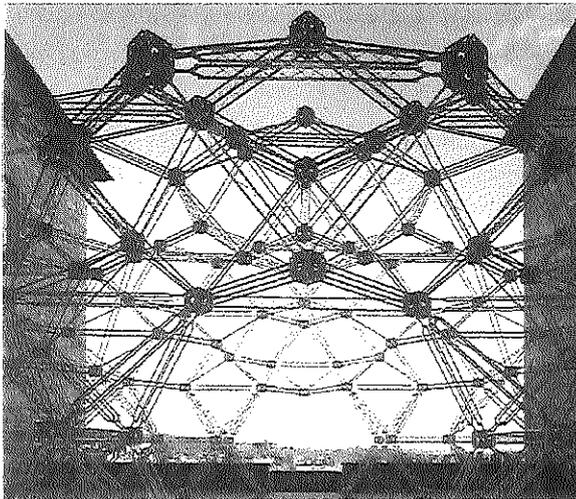
<sup>16</sup> Margarit, J. e Buxadé, C., op. cit.

- e por último, sua aparência.<sup>17</sup>

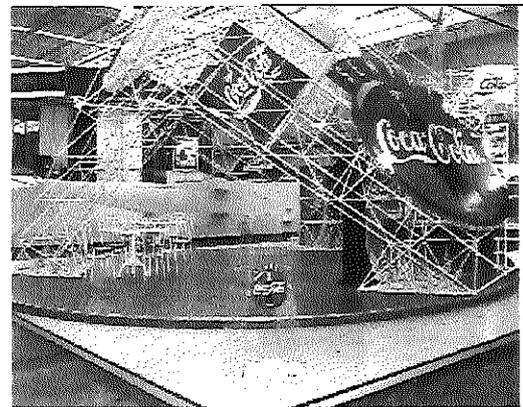
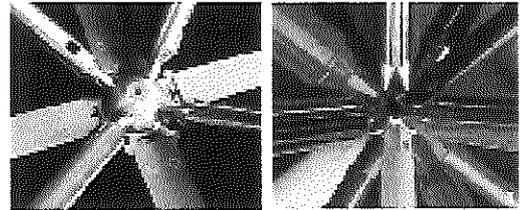
De fato, se enumerados tantos atributos, os fatores “técnicos” podem ser tornar preponderantes na escolha do sistema construtivo.

A utilização mais comum dos sistemas de estrutura espacial é em forma de coberturas planas, amplamente utilizadas em instalações industriais, estações rodoviárias, supermercados e outros. As possibilidades de crescimento das coberturas planas em estrutura espacial se restringem à repetição dos poliedros que compõem a estrutura, numa operação chamada por Margarit e Buxadé de simetria por translação.<sup>18</sup>

Porém, as possibilidades de variação no desenho da estrutura permitem ao arquiteto desenvolver uma gama variada de projetos . Um mesmo sistema pode assumir diversas configurações.



21. Sistema Zerone para estandes de exposição  
Domus Dossier, 4/97



22, 23, 24. Sistemas para exposições MERO  
[www.mero.com](http://www.mero.com)

Em geral, são utilizadas em obras de grande porte, com necessidade de amplos vãos livres, concentração de grande quantidade de pessoas. São pouco

<sup>17</sup> Makowski, Z.S. *Analysis, design and construction of double-layer grids*. London, Applied Science Publishers, 1981

<sup>18</sup> Margarit, J. e Buxadé, C., op. cit.

utilizadas em pequenas edificações, habitações, mas tem proliferado em sistemas para produção de construções de caráter temporário, onde o exemplo mais notável está na montagem de estandes para exposições e sistemas de aluguel para montagem de infra-estrutura para espetáculos. São exemplos o sistema Zerone, de origem italiana, que consiste de uma estrutura em que as barras são treliças espaciais, parecidas com o sistema utilizado na Torre Eiffel e os nós em formato cúbico; e o sistemas derivados do sistema MERO, produzidos na Alemanha, como mostram ilustrações acima. Também são utilizadas em estruturas secundárias para sustentação de caixilharia (Memorial da América Latina), forros (Aeroporto Internacional de Guarulhos), etc.

As malhas espaciais permitem pequenas alturas de treliça. Autores estrangeiros admitem uma relação de até  $l/60$  para a altura, onde 'l' é a distância entre apoios. "Tem-se observado no Brasil, que para os sistemas aqui disponíveis, a faixa de utilização para altura da treliça é de  $l/15$  a  $l/20$ ".<sup>19</sup>

Muitos sistemas foram desenvolvidos, utilizando tecnologias distintas pois, "cada construtor ... protege seu sistema por meio de patentes que, quase sempre, se referem aos detalhes construtivos dos nós...".<sup>20</sup> Basicamente, as alterações se dão graças ao desenho de nó e à forma de fixação entre barras e nós. Esse aspecto é definido pelo grau de industrialização e capacidade tecnológica da empresa que o produz. Há sistemas em que a junção é feita por soldas, outros por encaixe (achatamento das extremidades das barras) ou ainda através de parafusos. Essas características são demonstradas mais adiante.

80

## Exemplos de Aplicações

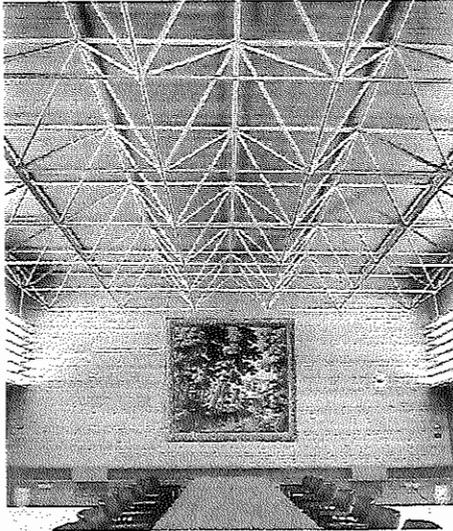
A concepção do sistema construtivo em estrutura espacial conduz sua forma de utilização, que se reflete em uma expressão plástica/formal variada, possibilitada pelo design do nó. Aqui são apresentados alguns exemplos de obras

---

<sup>19</sup> Magalhães, J. R. M. *Sobre o projeto e construção de estruturas metálicas espaciais*. São Carlos, EESC-USP, 1996

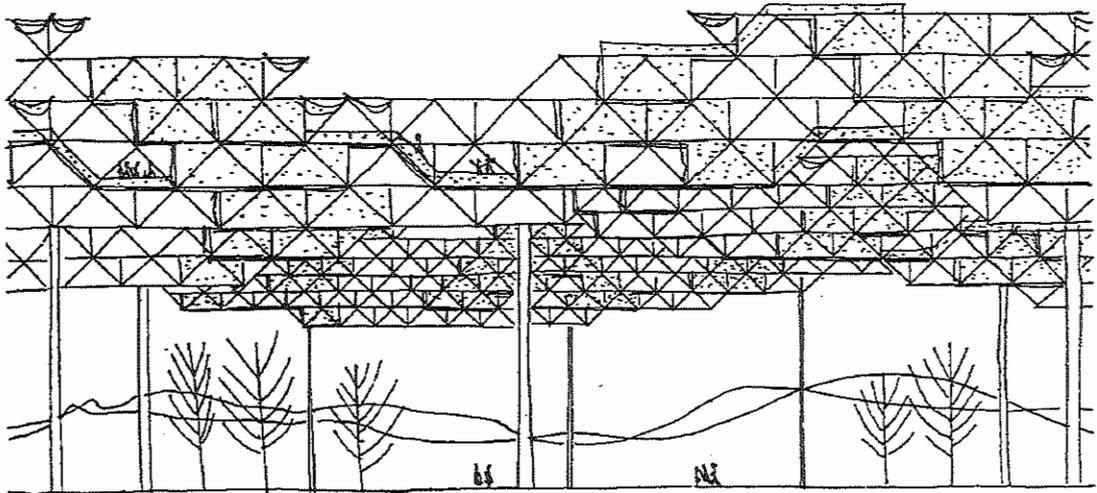
<sup>20</sup> Makowski, Z. S., op. cit., 1968. "Cada constructor ... protege su sistema por medio de patentes que, casi siempre, se refieren a los detalles constructivos de los nudos...".

projetadas com o uso de sistemas espaciais com o intuito de demonstrar a variabilidade de desenho da estrutura.

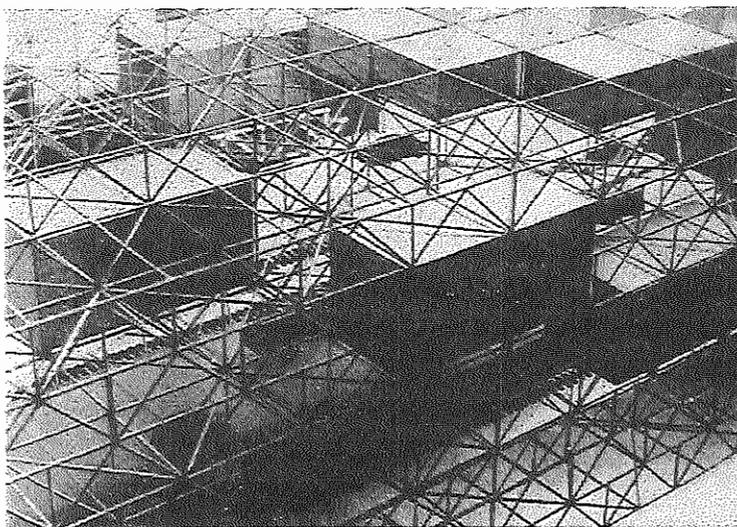


Na ilustração ao lado, vê-se a estrutura de uma sala de reuniões onde foi utilizada a aplicação mais comum de estrutura espacial, a cobertura plana. “Por motivos arquitetônicos deixou-se o reticulado Oktaplatte completamente visível”.

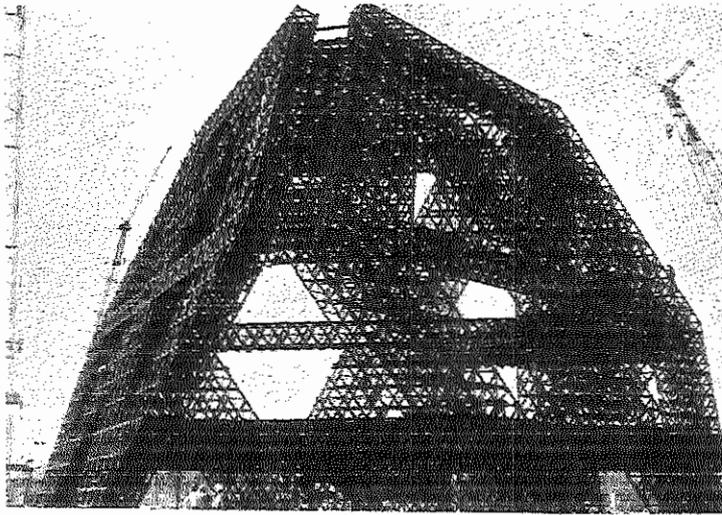
25. Cobertura plana em estrutura espacial  
Makowski, 1968



81

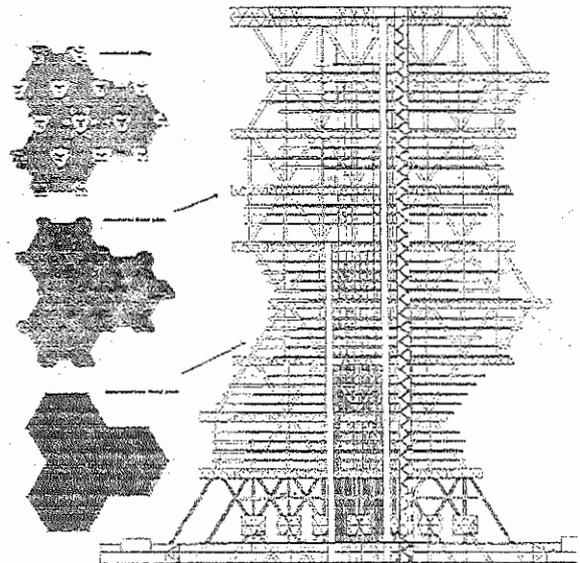
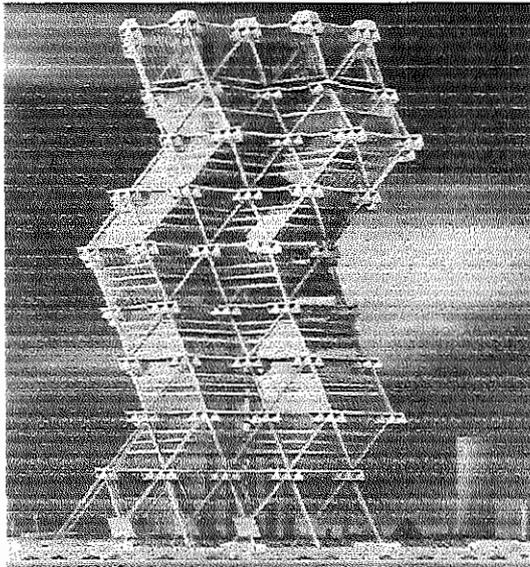


26, 27. Yona Friedman, de 1963, sugere a extensão dos princípios da malha espacial para escala urbanística.  
Balladur et alii, 1965



28. Pavilhão para a exposição mundial de Montreal de 1967, onde a estrutura espacial é utilizada em toda a estrutura.

Margarit & Buxadé, 1972



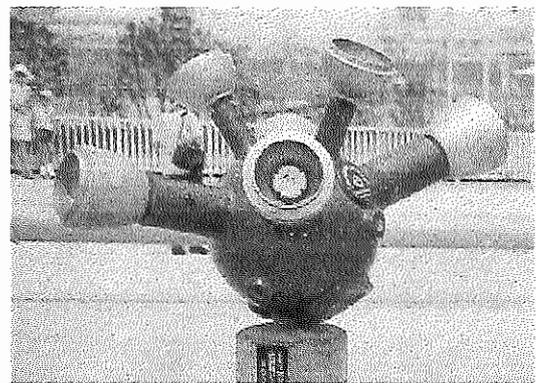
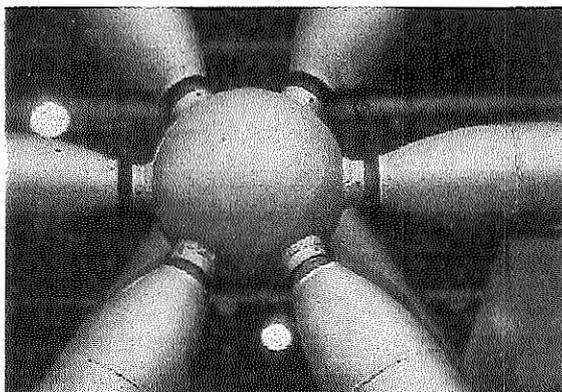
82

29, 30. Projeto de Louis Kahn de uma estrutura tridimensional de 1954. A estrutura espacial se compõe de elementos triangulares de concreto protendido pré-fabricado. Cada nó está coroado com um capitel de aproximadamente 3,35m onde estão os depósitos, sanitários e instalações técnicas.<sup>21</sup> Fotografia da maquete; plantas e corte. Giurgola, 1980

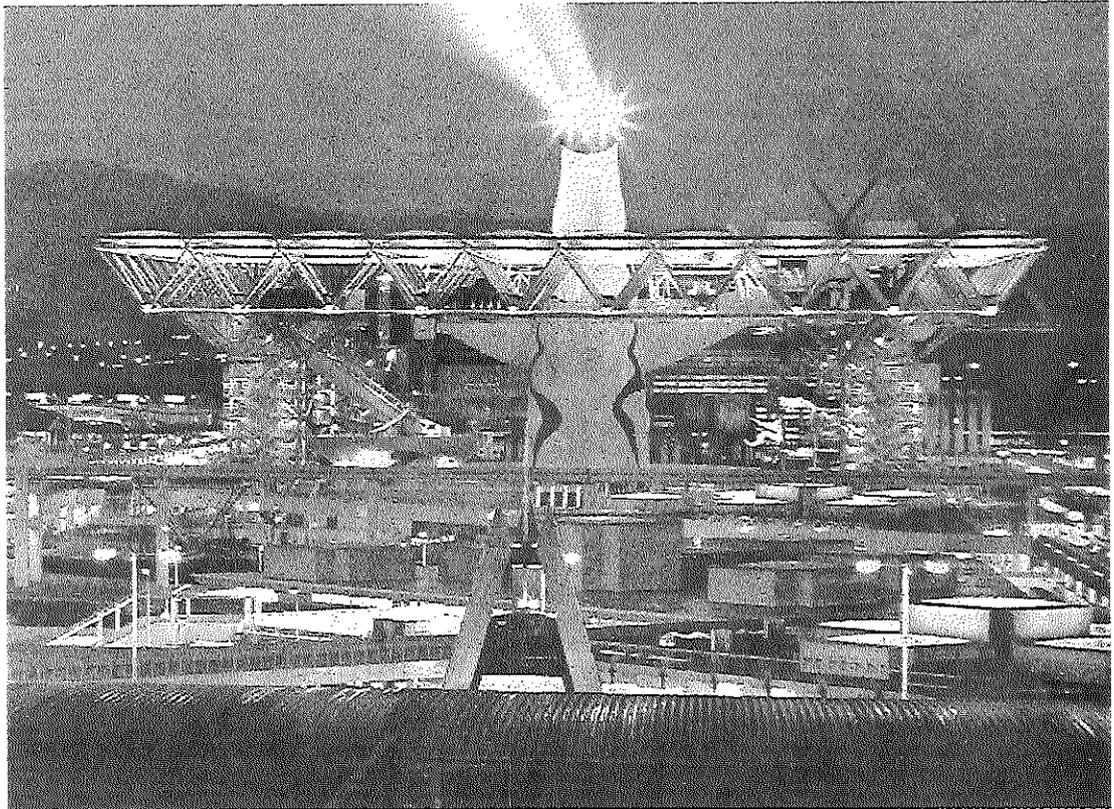
<sup>21</sup> Giurgola, R. *Louis I. Kahn*. Coleção Estudio paperback. Barcelona, GG, 1980



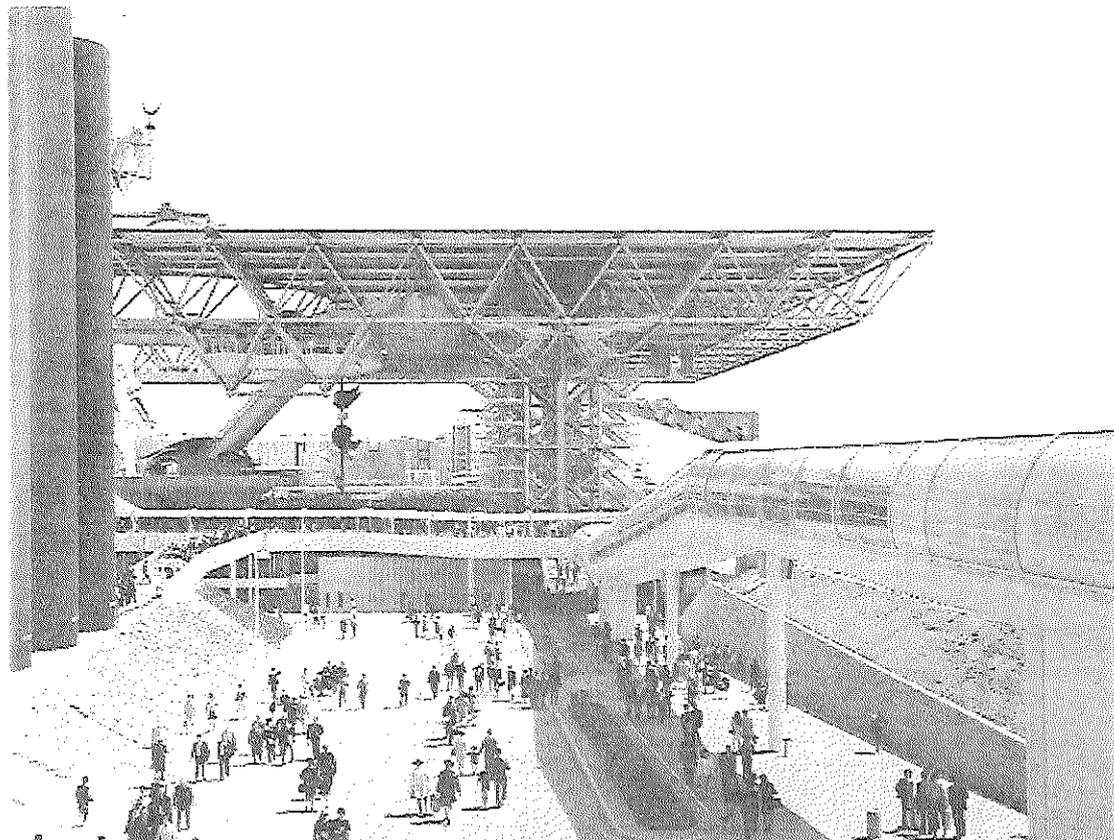
31. Kenzo Tange, Pavilhão Grande Praça do Sol na Expo Osaka 1970. É uma construção retangular de 100x250m, com malha em pirâmide quadrada. Suas barras tem cerca de 10m de comprimento e os nós mais de 1m de diâmetro.  
L'Architecture d'Aujourd'hui



32, 33. Kenzo Tange, Pavilhão Grande Praça do Sol na Expo Osaka 1970.,  
L'Architecture d'Aujourd'hui



34. Kenzo Tange, Pavilhão Grande Praça do Sol na Expo Osaka 1970.,  
L'Architecture d'Aujourd'hui



35 Kenzo Tange, Pavilhão Grande Praça do Sol na Expo Osaka 1970.,  
L'Architecture d'Aujourd'hui

## O NÓ NAS ESTRUTURAS ESPACIAIS

No caso das estruturas espaciais, do ponto de vista estrutural

“os nós, em uma malha espacial, têm um dupla função. Em primeiro lugar, devem garantir a transmissão de esforços ao longo da estrutura. Por se considerar as barras articuladas neles, estarão submetidos somente a esforços de tração ou compressão, determináveis a partir de forças que lhe transmitem as barras concorrentes. Em segundo lugar, devem facilitar o processo construtivo da malha e, por conseguinte, absorver a inevitável dispersão nas longitudes das barras, a respeito dos valores teóricos das mesmas, igual às possíveis fixações defeituosas, no espaço, do próprio nó”.<sup>22</sup>

Os projetos podem variar conforme a capacidade tecnológica do fabricante, não importando a cultura arquitetônica ou a preocupação em propor novos sistemas. Segundo Makowski, a criação de novos sistemas ocorre com o intuito de fugir da lei de patentes. Fundamentam-se no princípio de um elemento de ligação de barras metálicas, maciças ou tubulares, soldadas ou parafusadas, quase sempre visando a construção de uma cobertura plana, como veremos adiante. Porém, esse tipo estrutural também permite variações tipológicas do objeto arquitetônico.

85

De Makowski obtém-se dados sobre o desenvolvimento de nós, aos quais se refere como conectores:

“O tipo de junta depende primordialmente da técnica da conexão (parafuso, solda ou conectores especiais mecânicos). Também é afetado pela forma dos membros – tubular, perfil T, cantoneira – cada um envolve usualmente uma técnica de conexão. Conexões soldadas dão a maior resistência, mas, geralmente, em estruturas erguidas por trabalhadores semi-especializados, são usadas conexões parafusadas.

...

A revisão de desenvolvimentos recentes mostra claramente que a busca por um conector ‘ideal’ para estruturas espaciais continua. Muitos novos tipos de conector tem sido desenvolvidos, mas muitos deles são muito complexos e portanto muito caros. Como resultado, muito poucos tem sobrevivido ao teste do tempo.

---

<sup>22</sup> Margarit, J. e Buxadé, C., op. cit.

...

O custo de produção das junções é um dos mais importantes fatores que afetam na economia final das estruturas espaciais. Um sistema pré-fabricado de sucesso requer junções que devam ser repetitivas, produzidas em massa, simples de fabricar e aptas a transmitir os esforços nos membros inter-conectados aos nós”.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> Makowski, Z. S., op. cit., 1981. *“The type of joint depends primarily on the connection technique (bolting, welding or special mechanical connectors). It is also affected by the shape of the members – tubular, structural tee, angle or wide flange – usually each involves a different connection technique. Welded connections give the maximum strength, but, as a rule, in prefabricated structures erected by semi-skilled labour, bolted connections are used... The review of recent developments clearly shows that the search for an ‘ideal’ connector for prefabricated double-layer grids continues. Many new types of connector have been developed, but most of them are too complex and therefore too expensive. As a result, very few have survived the test of time... The cost of production of joints is one of the most important factors affecting the final economy of double-layer grids. A successful prefabricated system requires joints which must be repetitive, mass produced, simple to fabricate and able to transmit all the forces in the members interconnected at the nodes”.*

## SISTEMAS

A seguir são apresentados alguns dos sistemas de estruturas espaciais de maior notoriedade, seguindo sua ordem cronológica de surgimento. O primeiro caso, o sistema MERO, é considerado um dos mais eficientes e difundidos sistemas industrializados de estrutura espacial e será utilizado como parâmetro na análise dos sistemas que se seguiram.

### MERO

---

#### Introdução

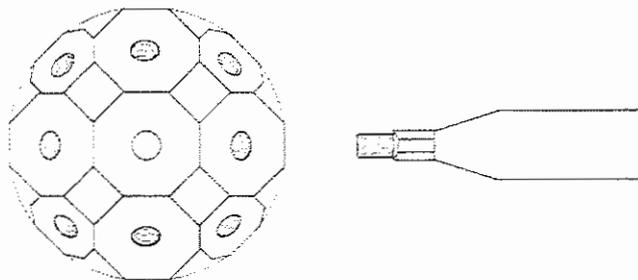
O sistema Mero foi desenvolvido na Alemanha em 1942-3, tornando-se o primeiro sistema de estrutura espacial a ser produzido em série, tomando partido da pré-fabricação e estandardização no desenvolvimento de um sistema de construção modular.

#### Descrição do sistema

87

#### Barras

As barras do sistema MERO são tubos de seção transversal circular; possuem em suas extremidades pinos móveis (parafusos) com porcas fixas neles, que permitem a fixação das barras aos nós.



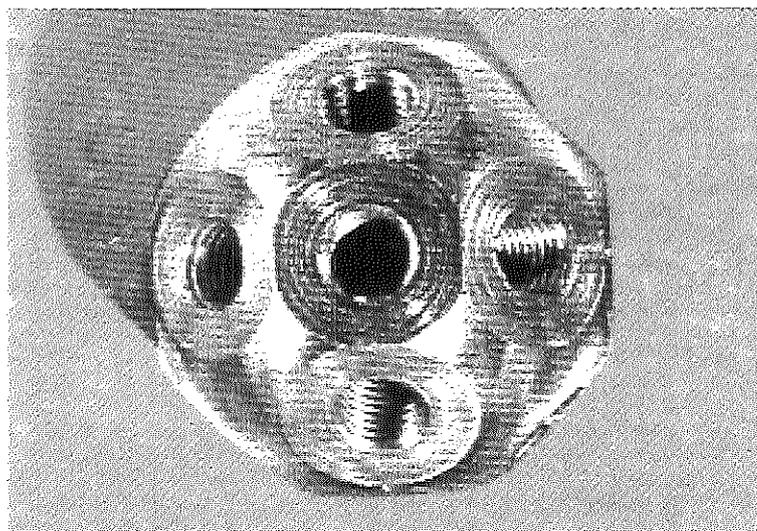
36. Sistema Mero, nó e barra: esquema  
Margarit & Buxadé, 1972

Segundo Eberlein, para aplicação em estruturas temporárias, de aluguel, como as utilizadas para montagem de exposições, os elementos tubulares – as

barras – obedecem comprimentos estabelecidos por séries geométricas, começando com 1m, progredindo para  $1\sqrt{2}$ , 2m,  $2\sqrt{2}$  e assim por diante.<sup>24</sup>

Em outras aplicações, para estruturas de caráter permanente, o profissional responsável tem total liberdade para estabelecer os comprimentos das barras, respeitando os critérios de desempenho estrutural.

## Nós



37. Nó MERO padrão, 18 furos  
Catálogo técnico

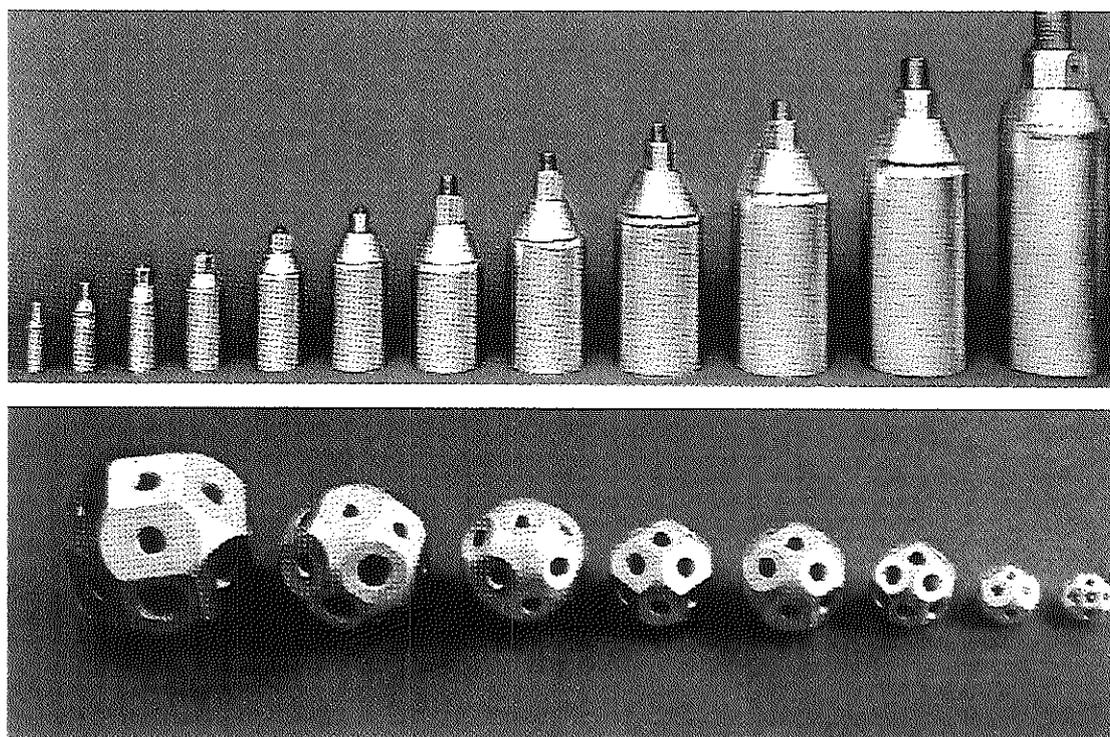
Os nós, ou conectores, como chama Eberlein, são constituídos de esferas maciças de aço onde são feitas as perfurações e roscas que recebem os parafusos de fixação que se encontram nas extremidades das barras. O conector é uma esfera padronizada com 18 furos roscados, que permite a conexão de barras em ângulos de 45°, 60° e 90°, assim como em múltiplos desses valores. Esse conector padrão, que pode ser feito em diferentes tamanhos para resistir a diferentes forças, é produzido em grande escala. Os 18 furos para fixação das barras, dispostos em eixos perpendiculares entre si em 3 direções não apresentam excentricidade. Para as estruturas mais freqüentes são fornecidos conectores com

---

<sup>24</sup> Eberlein, H. *The use of the MERO industrialised system of construction in double-layer grids*. In Makowski, Z. S., op. cit., 1981

apenas 10 furos, também em vários tamanhos e disponíveis como itens de estoque.

As configurações básicas são dadas por uma família de nós e barras onde são consideradas faixas (intervalos) de solicitação estrutural, tanto no dimensionamento dos nós como das barras. “A flexibilidade e também a economia do sistema MERO deriva do uso, principalmente, de somente um nó esférico... e alguns membros cilíndricos correspondentes (em diâmetros e comprimentos padronizados ou em comprimentos fabricados especialmente), formando assim um kit construtivo”.<sup>25</sup>



89

38, 39. Família de nós e barras MERO padronizada  
Catálogo técnico

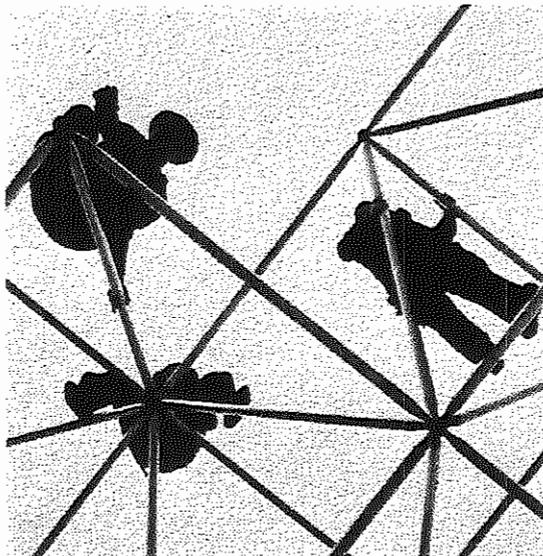
Uma das qualidades do sistema é de se reduzir a somente dois elementos: nó e barra. Em outros sistemas, o nó se decompõe em várias peças, ou necessita de parafusos ou solda. Tal redução de elementos acaba por proporcionar uma boa aparência do conjunto. Além disso, os nós permitem conexão com subsistemas,

---

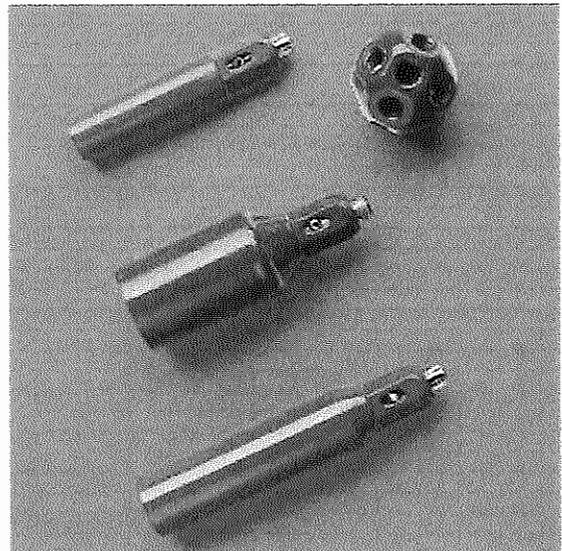
<sup>25</sup> Eberlein, H., op. cit.

como iluminação, forros, telhas, por dispor de furos que permitam sua fixação, ou seja, sugerem uma 'abertura' do sistema.

O sistema apresenta facilidade de montagem e desmontagem possibilitadas pela forma de fixação: barras terminam em parafusos. Segundo o professor José Jairo de Sáles, apresenta alguns problemas com relação a sua manutenção ou desmontagem. Se houver necessidade de substituição de partes da estrutura (barras) longe das extremidades, seria necessário desmontar a estrutura até o local da substituição em função do sistema de fixação das barras ao nó. A estrutura necessitaria de uma folga, ou espaço de movimentação, para permitir a saída e entrada das barras a substituir.<sup>26</sup>



40. Montagem de estrutura  
Margarit & Buxadé, 1972



41. Exemplos de barras e nó  
[www.mero.com](http://www.mero.com)

## Aplicações

O sistema Mero foi utilizado em obras em muitos países, incluindo o Brasil. Permite grande flexibilidade de aplicação e possibilita ampla variedade formal:

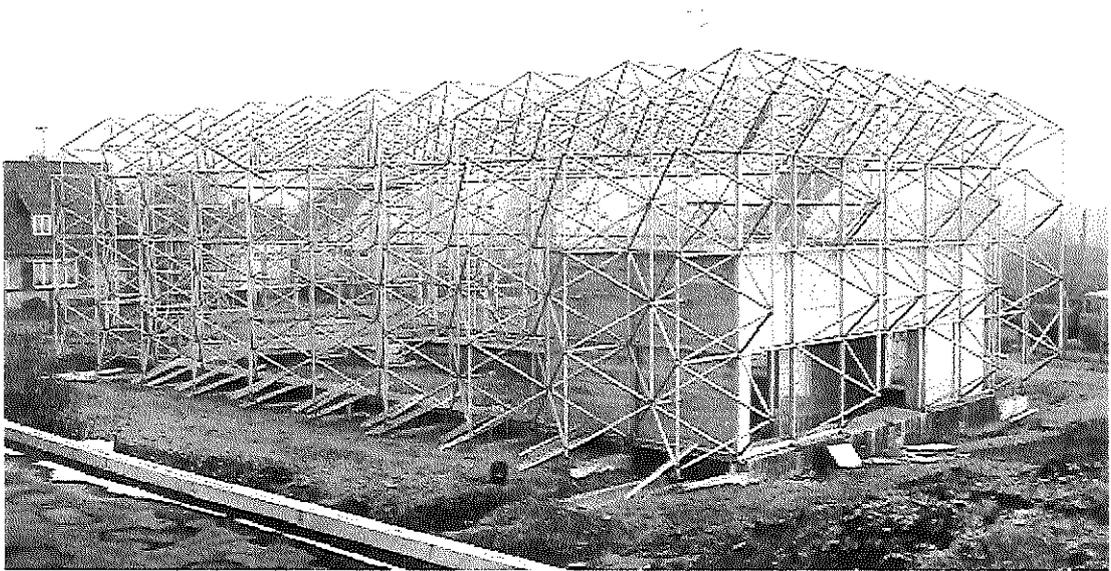
- Estruturas de coberturas planas, de duas ou mais camadas; coberturas curvas, cúpulas ou abóbadas;

---

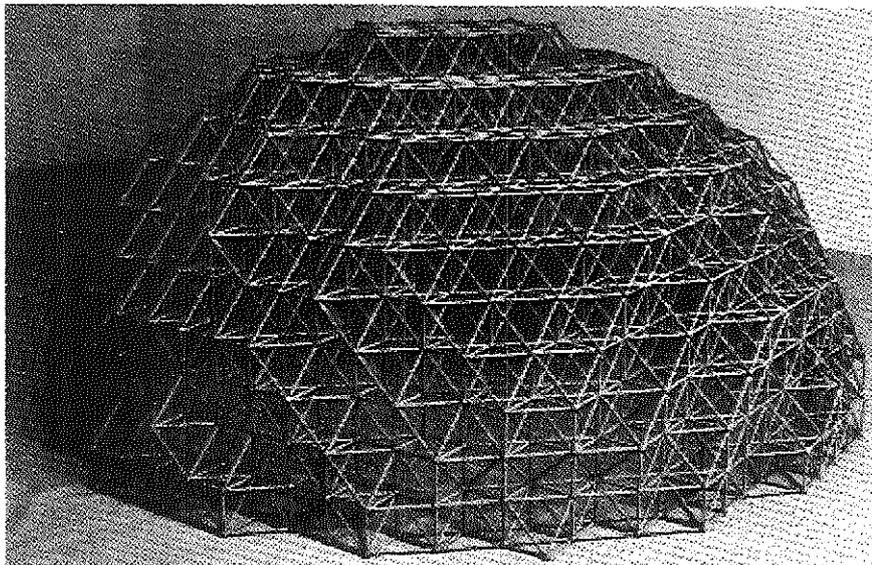
<sup>26</sup> Sáles. J. J. Entrevista concedida ao autor em 4/5/1999.

- Estruturas complexas, com maior exigência técnica; mastros, tribunas, passarelas, andaimes, plataformas móveis;
- Estruturas para exposições, de caráter temporário, com intenções além das estruturais, explorando a aparência do sistema.

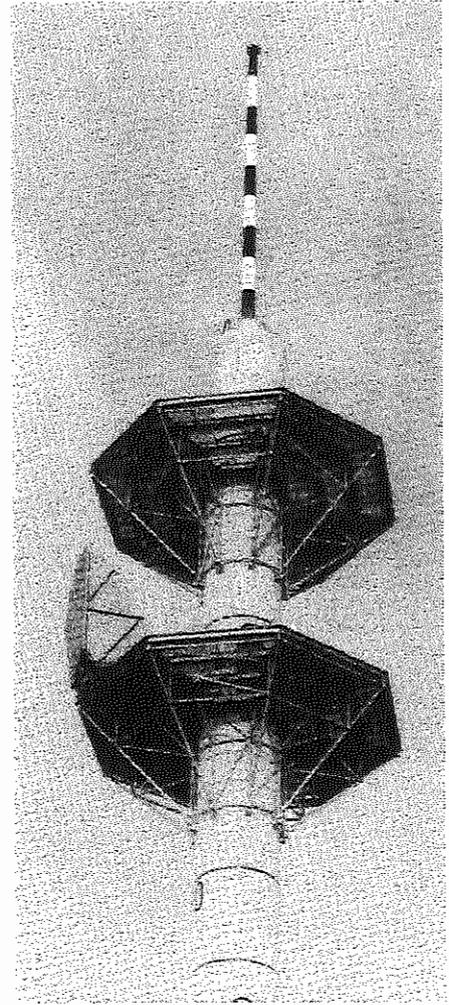
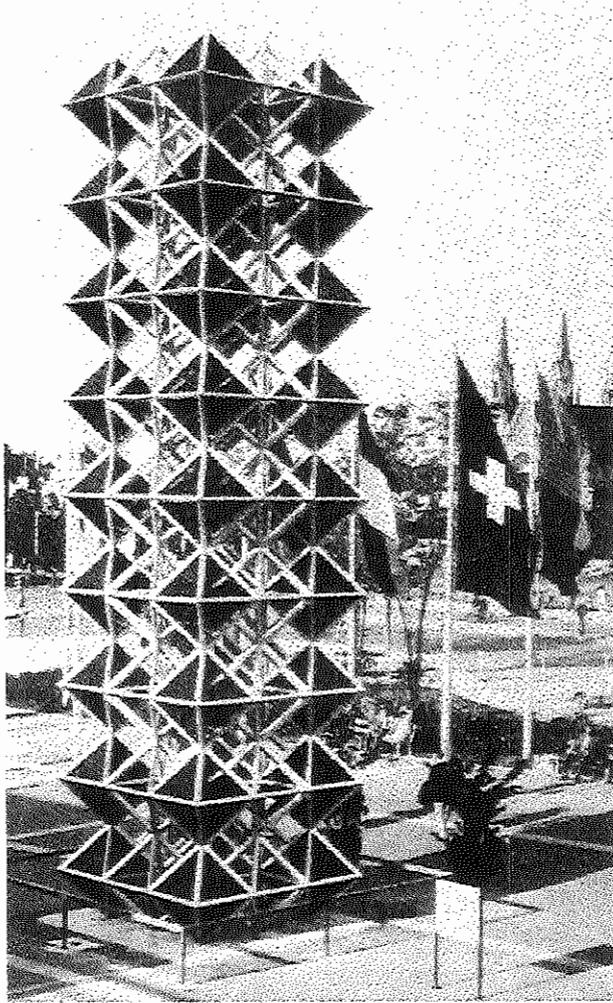
A seguir, vê-se alguns edifícios construídos com o sistema e que apresentam diversidade nas soluções arquitetônicas.



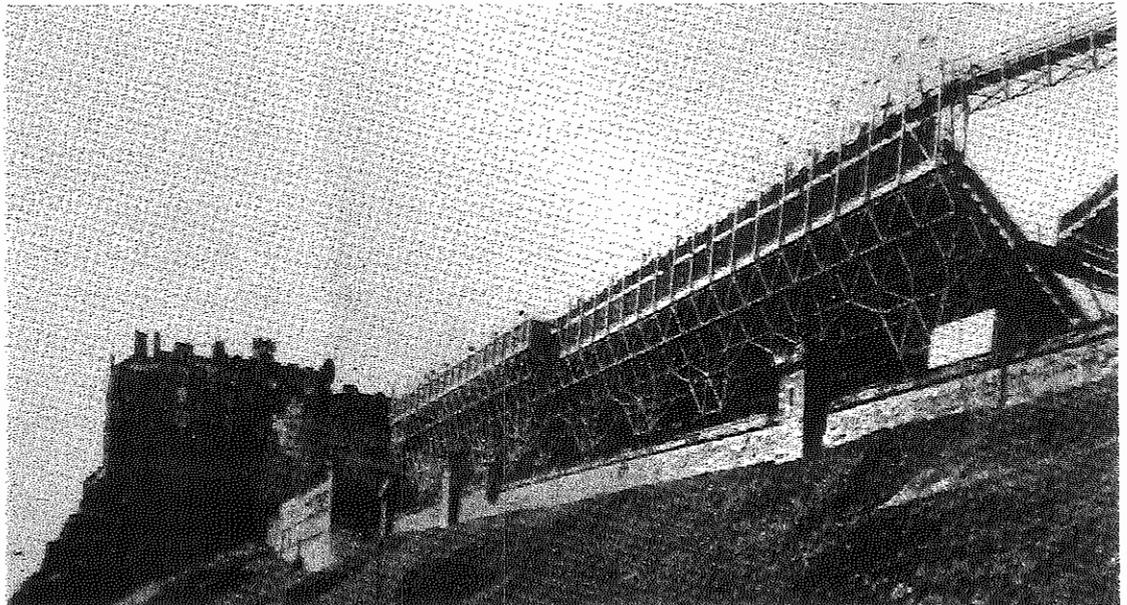
42 Igreja em Dusseldorf, onde a estrutura envolve todo o edifício  
Makowski, 1968



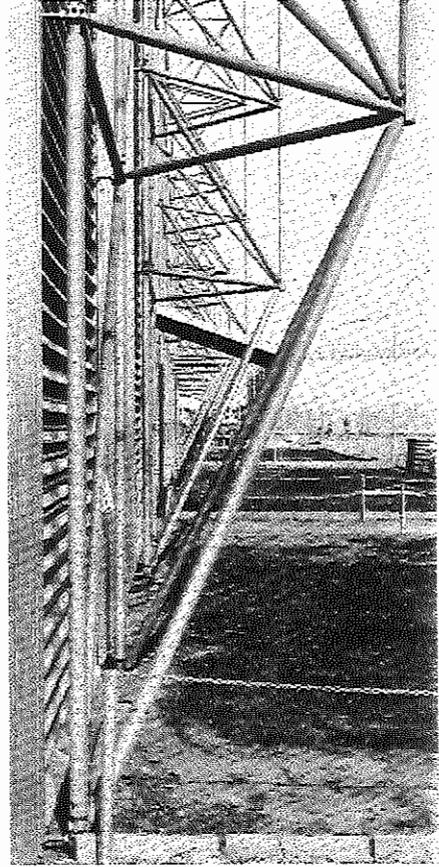
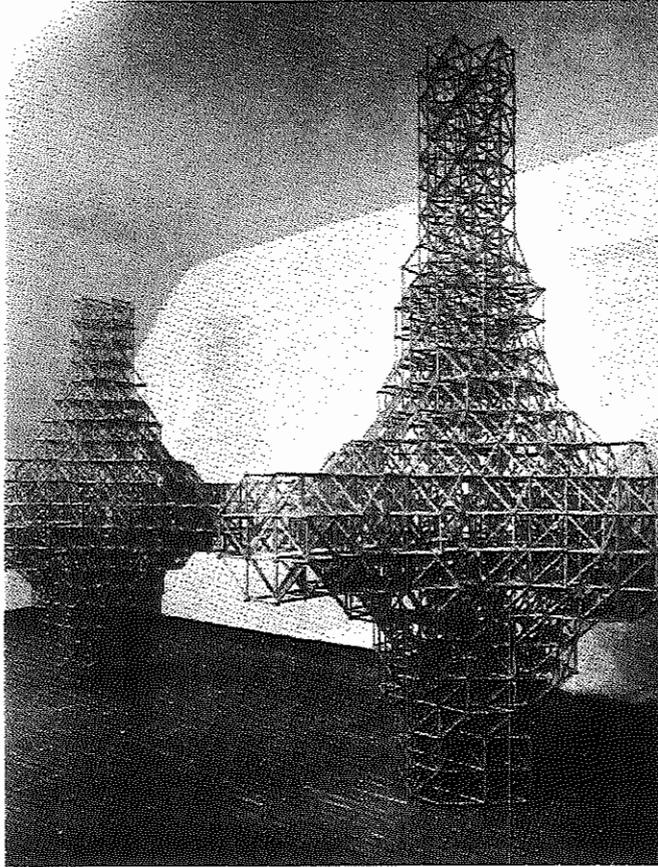
43. Estrutura proposta pela própria empresa, composta de tubos de 55mm de diâmetro por 2,5m de comprimento. Margarit & Buxadé, 1972



44, 45. Duas torres, a primeira construída em Munique e a outra para uma emissora de rádio alemã.  
Makowski, 1981

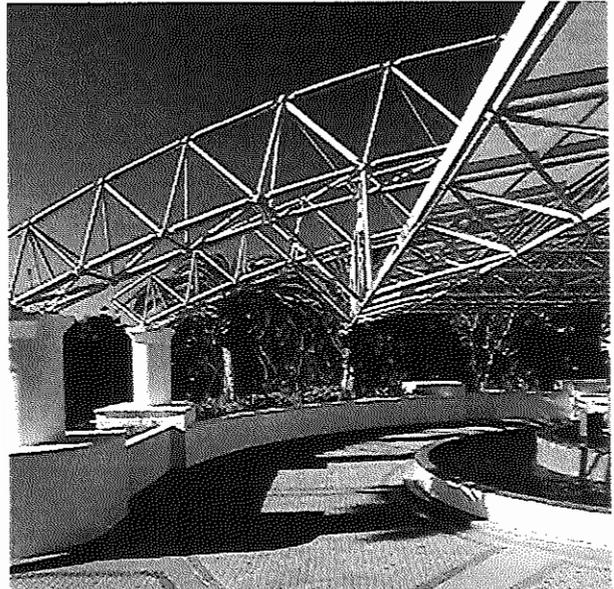
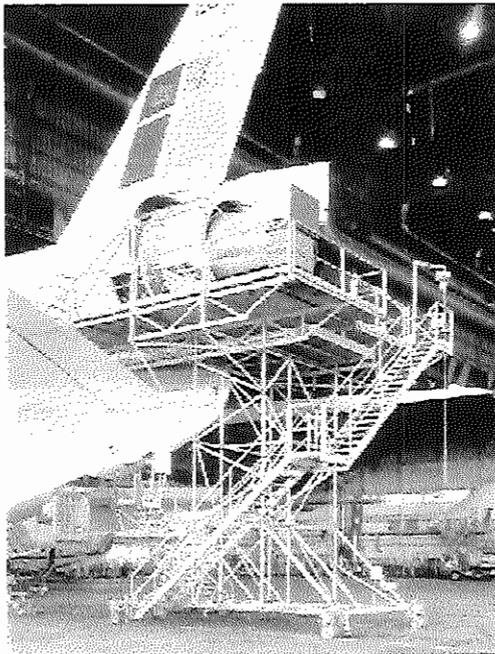


46. Pavilhão de uso militar na Escócia.  
Makowski, 1981



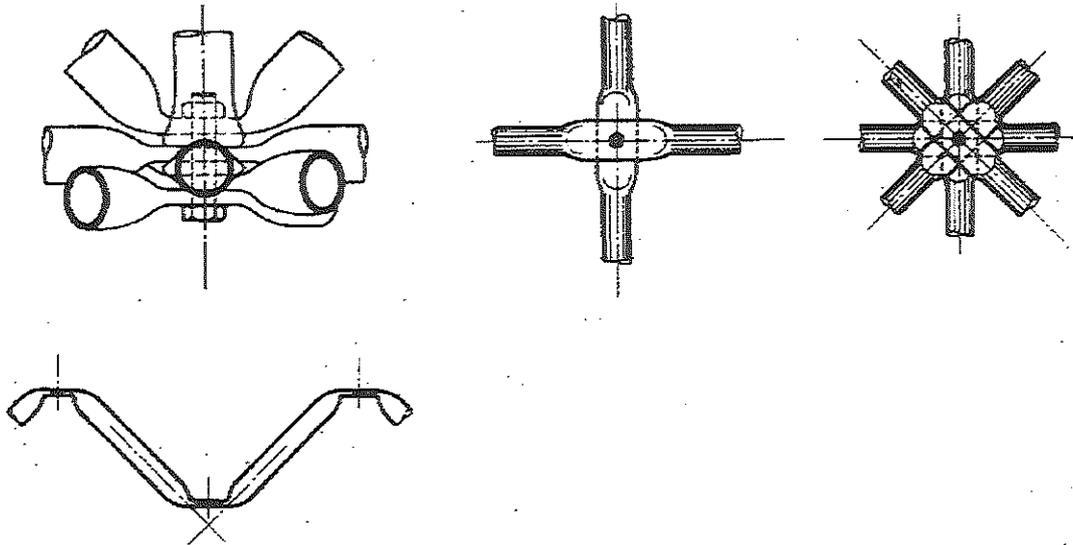
47 Uma outra proposta da empresa para a construção de edifícios residenciais  
Margarit & Buxadé. 1972

48. Variação da estrutura compondo pórticos no pavilhão alemão de uma exposição industrial no Sudão  
Makowski, 1981



49, 50 Plataforma de serviços e cobertura  
[www.mero.com](http://www.mero.com) (sem referência à obra)

## NÓS POR UNIÃO DE BARRAS AMASSADAS OU ESTAMPADAS



51. nó formado pela união de barras por um parafuso  
Margarit & Buxadé, 1972

Neste tipo de estrutura não há um nó propriamente dito, mas uma junção de barras. Apresentam variação de rigidez nas extremidades das barras. O achatamento do tubo altera as características físicas do material, proporcionando possíveis pontos de deformação. Há excentricidade nas ligações.

94

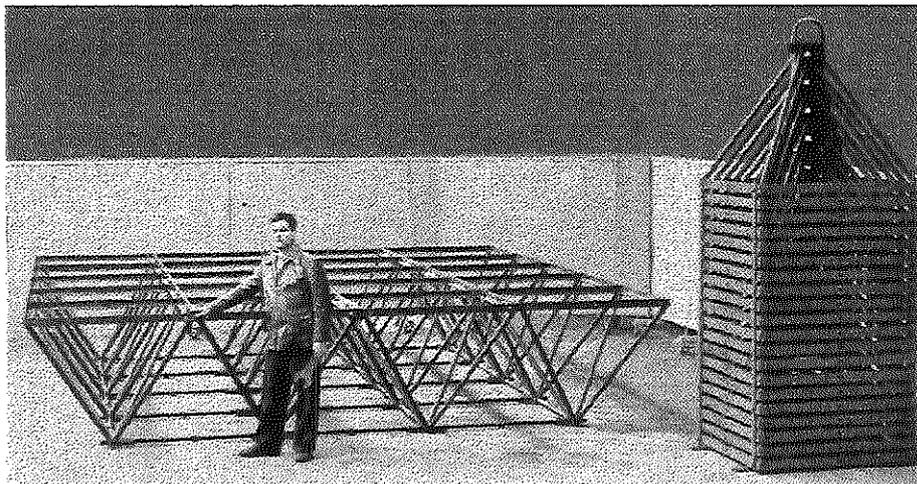
São sistemas bastante populares no Brasil (ver exemplos adiante).

Segundo Malite “membros de seção tubular com terminações estampadas são uma solução relativamente barata; porém, eles são inseguros sob o ponto de vista estrutural e por isso requerem estudos cuidadosos para estabelecer critérios e limites para o seu uso.”<sup>27</sup> Ao mesmo tempo que apresentam extrema facilidade de montagem – em muitos casos utilizando um único parafuso – isto faz com que a junção tenha resultados restritos em termos de resistência da conexão. “A maioria dos tipos de conexões usualmente usados no Brasil demonstram rigidez variável dos membros nos nós”.

<sup>27</sup> Malite, M.; Gonçalves R. M.; Sáles, J. J.; Magalhães, J. R. M.; Salles, E. R. P. *Space Structures in Brazil*, in *Journal of Constructional Steel Research*, 1998, 46:1-3, Paper No. 230.

## SPACE DECK

---



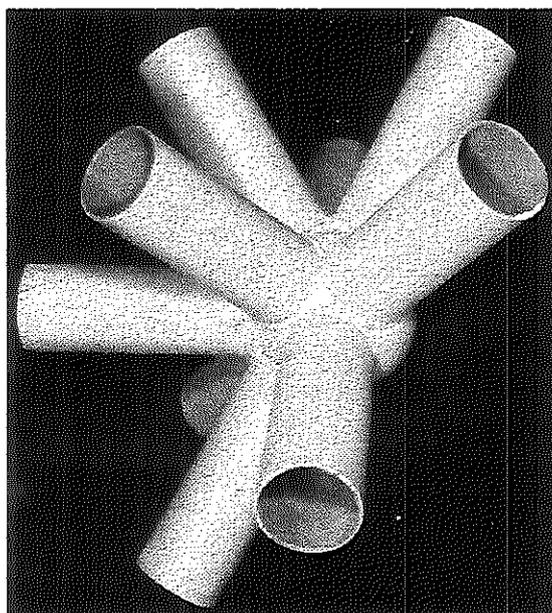
51. Space Deck  
Makowski, 1968

Sistema introduzido na Inglaterra, na década de 50, possui barras e nós, mas as unidades construtivas são elementos piramidais onde nós e barras já se encontram “embutidos”. A junção das pirâmides feito por pinos que unem as arestas da base e por tubos encaixados no vértice inferior da pirâmide. Seu design é favorável ao fácil transporte e montagem.

95

## OKTOPLATTE

---

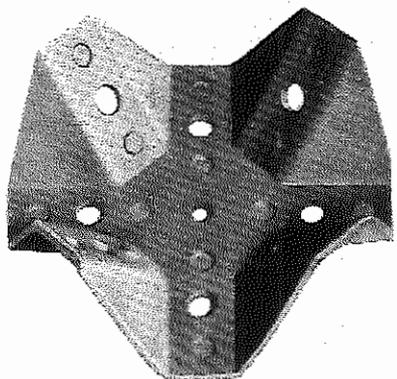
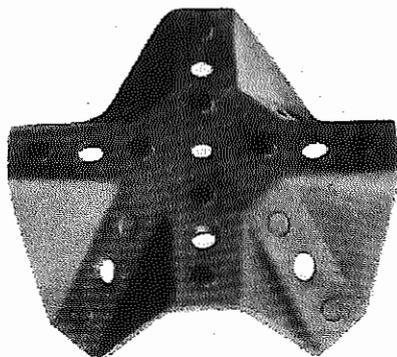


Nó esférico composto por duas calotas e um disco meridiano.

A conexão entre barras e nós é feita através de solda, que garante maior rigidez à estrutura mas exige mão de obra melhor preparada.

53 Nó oktoplate  
Makowski, 1968

## UNISTRUT



54. Nó Unistrut – década de 50  
Makowski, 1968

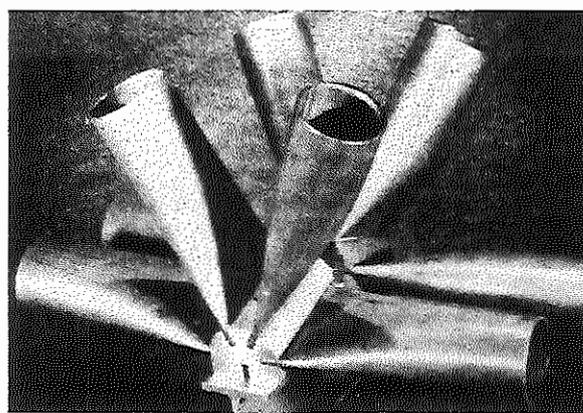
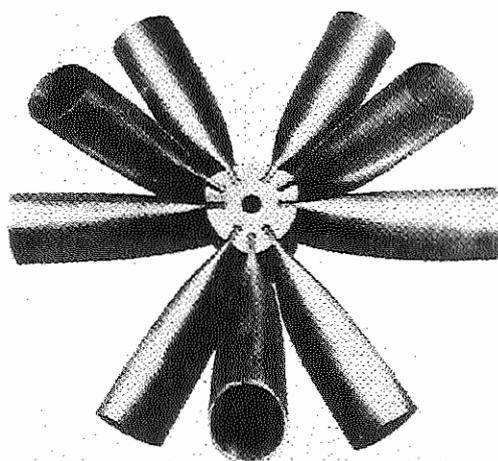
O sistema surgiu nos Estados Unidos na década de 50: foi introduzido no mercado em 1955.

O nó é bastante distinto dos outros apresentados aqui: é feito de chapa estampada de forma plissada, onde se encaixam e são parafusadas barras de seção transversal quadrada ou retangular

O fabricante do sistema prega a possibilidade de auto-alinhamento e nivelamento, por permitir a utilização de longarinas que percorram os nós em substituição às cordas convencionais (barras) das estruturas espaciais; e que suprem a necessidade por sistema para a construção flexível de edifícios, com possibilidade de expansão ou desmontagem.

96

## TRIODETTIC



55, 56. Nó Triodetic – década de 60  
Margarit & Buxadé, 1972

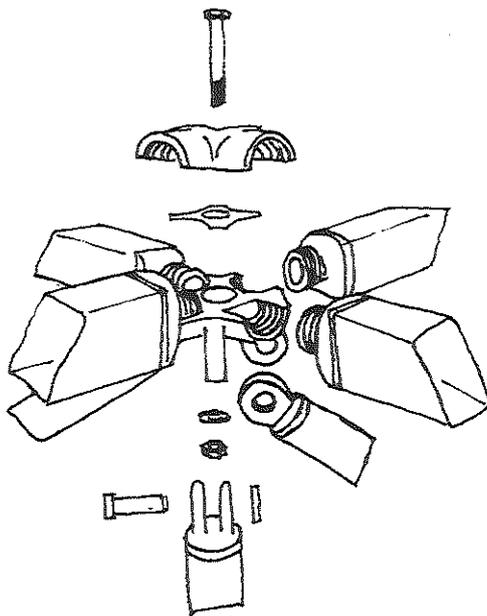
Sistema produzido no Canadá a partir da década de 60, tem como princípios de design proporcionar juntas que possam ser unidas sem solda, pinos ou rebites. O

nó é extrudado; pode ter diversas configurações e variação na quantidade de encaixes. As barras podem ser tubos de qualquer seção transversal graças aos encaixes por achatamento das extremidades.

Makowski aponta como vantagens desse sistema a precisão na fabricação dos componentes e a velocidade e facilidade de montagem, com mão-de-obra sem habilidades especiais.<sup>28</sup>

## NODUS

---



57. Nó Nodus – 1972  
Makowski, 1981

Esse sistema é produzido na Inglaterra a partir de 1972. Apresenta bom desempenho estrutural. Segundo o fabricante, o nó é produzido com precisão de indústria de motores automobilísticos. Convém comparar o nó do sistema Nodus com o nó Mero. São dois sistemas com semelhança quanto ao desempenho estrutural e de concepção, com a diferença na quantidade de peças envolvidas na montagem. Pela imagem ao lado vê-se a grande quantidade de peças envolvidas em sua montagem.

---

<sup>28</sup> Makowski, Z. S., op. cit., 1968

## Brasil

No **Brasil**, os sistemas mais difundidos são os de nós compostos por união de barras com pontas achatadas. Segundo Magalhães

"no Brasil, a utilização de alguns (...) sistemas [estrangeiros] se reduz basicamente a algumas poucas obras feitas com o sistema MERO. Isto se deve ao baixo custo que sistemas não patenteados aqui utilizados, ofereçam. Dentre estes o mais comum é um sistema composto de barras de seção transversal circular (tubos), com as extremidades amassadas, que se unem através de um parafuso, formando um nó...". E completa que "... sobre este sistema não são conhecidos estudos que comprovem a validade das hipóteses de cálculo assumidas. É possível notar ... variações de rigidez nas extremidades das barras assim como excentricidades nas ligações".<sup>29</sup>

Souza afirma que

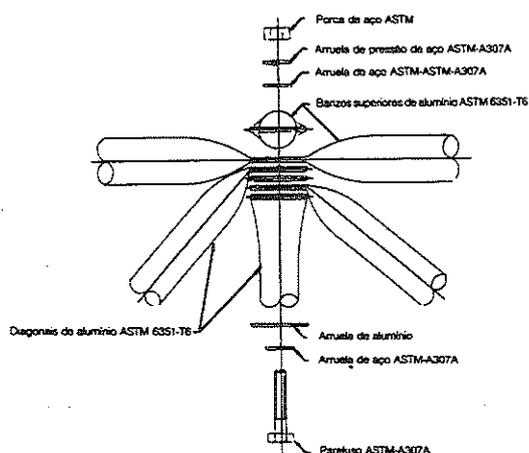
"no Brasil, os sistemas de nós patenteados são pouco utilizados; a maioria das estruturas espaciais compõem-se de barras de seção tubular circular com extremidades amassadas, unidas por um ou mais parafusos, compondo os nós, com e sem chapas de ligação".<sup>30</sup>

Ainda segundo Souza, o Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos, USP, utiliza uma nomenclatura própria para os nós utilizados no Brasil. Classifica os nós como: nó típico, nó típico com chapa complementar, nó com chapa de extremidade e nó de aço.

O **nó típico** é o mais comum e também o que merece mais atenção. O sistema de ligação apresenta dois problemas significativos: a utilização de apenas um parafuso, contrariando as recomendações correntes de utilizar no mínimo dois parafusos em ligações; a excentricidade na união das barras provoca o surgimento de momentos fletores, podendo ocasionar plastificação nas extremidades amassadas das barras, sobretudo nas diagonais que também tem as extremidades dobradas.

---

<sup>29</sup> Magalhães, J. R. M. op. cit.

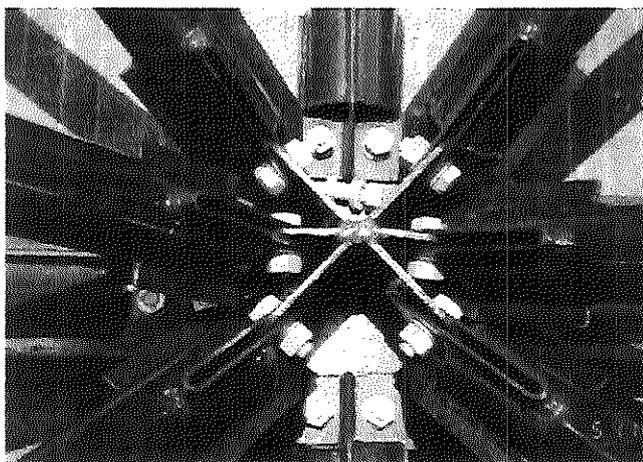


58. Alusud, nó típico  
Catálogo técnico

O **nó típico com chapa complementar** é bastante semelhante ao nó típico. Difere por recorrer a chapas horizontais para ligar as barras dos banzos aumentando a resistência da ligação. Apresenta os mesmos problemas do nó típico.

O **nó com chapa de extremidade** é formado por duas chapas paralelas soldadas em um rasgo na extremidade do tubo e conectadas a chapas de apoio por meio de parafusos. A diferença de outros sistemas não está no nó em si mas nas terminações das barras. Esse nó não apresenta excentricidades nas ligações. O ponto fraco está na demonstração de baixa rigidez à compressão nas chapas, que podem receber reforços com a soldagem de placas perpendiculares a seu plano.

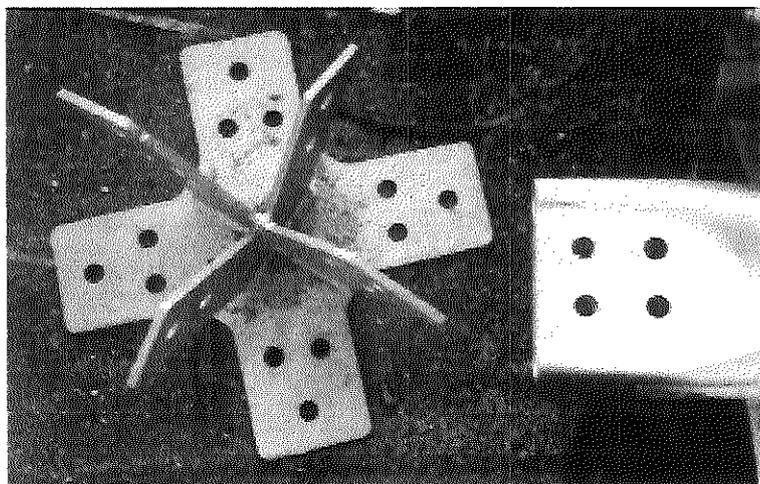
99



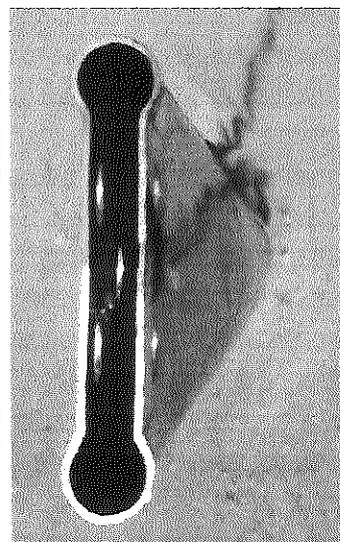
59. Nó com chapa de extremidade  
Fotografia: Alusud

<sup>30</sup> Souza, A. S. C. de. *Contribuição ao estudo das estruturas espaciais*. EESC-USP, 1998

O **nó de aço**, dentre os sistemas de ligação apresentados, é o que tem melhor desempenho e o melhor comportamento estrutural. Os centros das barras concorrem para um único ponto, o que evita excentricidade. Utiliza-se barras estampadas que “vestem” as “esperas” do nó onde recebem dois ou mais parafusos. Resta somente neste sistema de ligação, o problema da variação de inércia nas extremidades das barras provocado pela estampagem.



60, 61 Alusud: nó de aço  
fotografia Alusud



100

Alguns sistemas estão ou estiveram disponíveis no mercado brasileiro. Foram localizadas e contactadas por e-mail as empresas Bemo do Brasil Sistemas Metálicos Ltda, Alusud Eng. e Ind. de Construção Espacial Ltda., e Perfil SA. Somente a primeira demonstrou-se disponível para demonstrar o sistema produzido. Os dados das empresas foram obtidos através de catálogos técnicos (Tri-o-Tec, Alusud, Mero), anúncios em revistas (Metalnox, Trimetal, Bemo, Alusud), pela WWW (Bemo, Alusud, ABCEM<sup>31</sup>) ou por entrevista (Perfil).

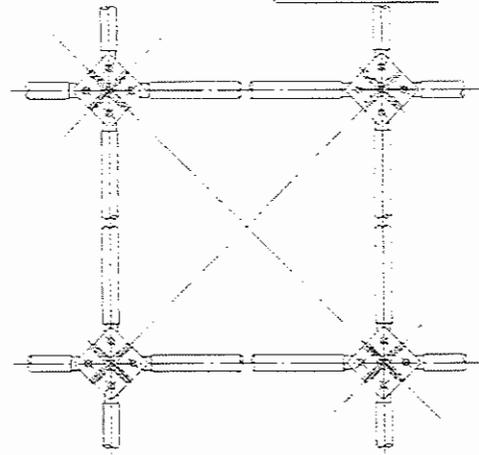
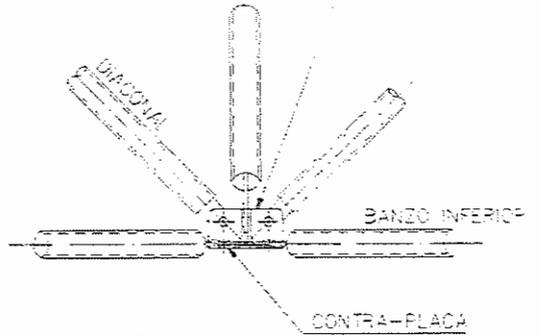
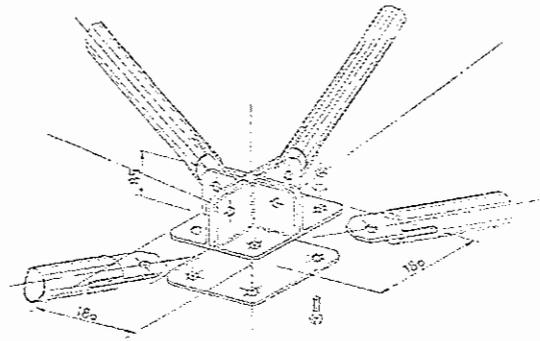
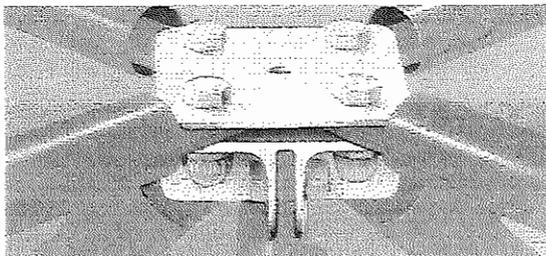
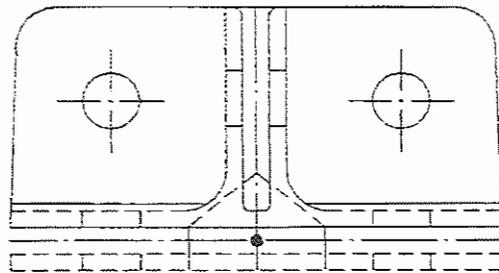
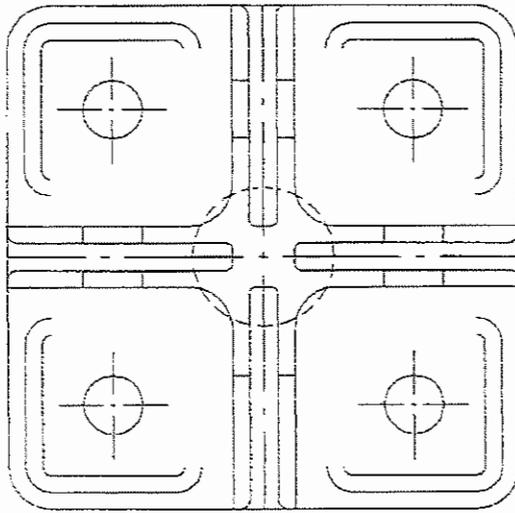
## MERO

---

Foi produzido pela Mannesmann, idêntico ao sistema descrito anteriormente.

<sup>31</sup> [www.bemo.com.br](http://www.bemo.com.br); [www.alusud.com.br](http://www.alusud.com.br); [www.abcem.com.br](http://www.abcem.com.br)





62-67. Sistema Bemo-Varitec  
Catálogos técnicos

O sistema Bemo-Varitec é produzido pela Bemo do Brasil – Sistemas Metálicos Ltda, empresa fundada a cerca de 12 anos com participação de capital externo.

O sistema é composto de um nó fundido em aço e barras tubulares de seção circular. Os nós, por serem fundidos, não apresentam emendas. Permitem a conexão de barras diagonais em ângulos padronizados: 45° e 52°. As barras são produzidas em aço SAC 51. São unidas aos nós por parafusos galvanizados a fogo e levam pintura eletrostática. As conexões dos tubos ao nó são feitas, sem

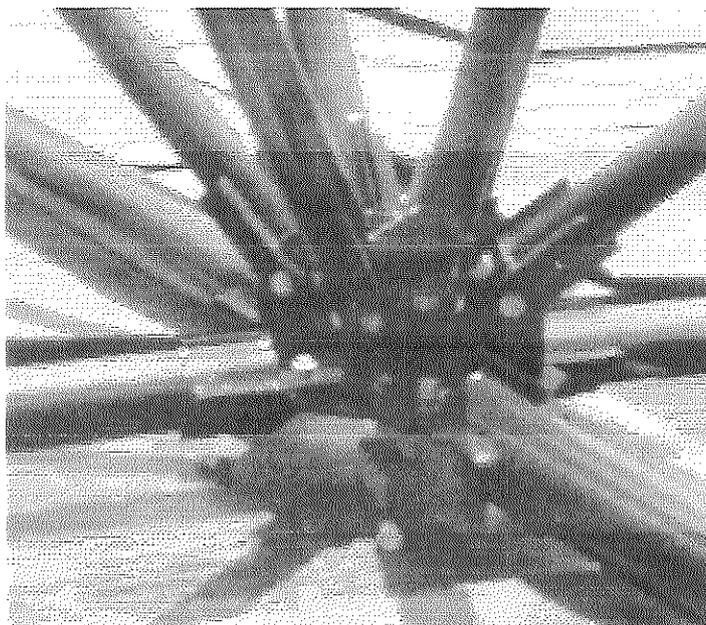
apresentar excentricidade, através de chapas soldadas centralizadas nas extremidades dos tubos com solda tipo MIG.

Toda treliça espacial apresenta variação de solicitação ao longo da estrutura. A empresa optou pela variação dos diâmetros das barras para corresponder às diferentes solicitações, ao contrário da variação exclusiva na espessura das paredes das barras, com o propósito de “evitar confusões na montagem”.

A empresa, em sua associada alemão, produz um sistema equivalente ao sistema Mero. Por uma questão de mercado, optou por oferecer no Brasil o sistema aqui apresentado.

#### **ALUSUD:**

---

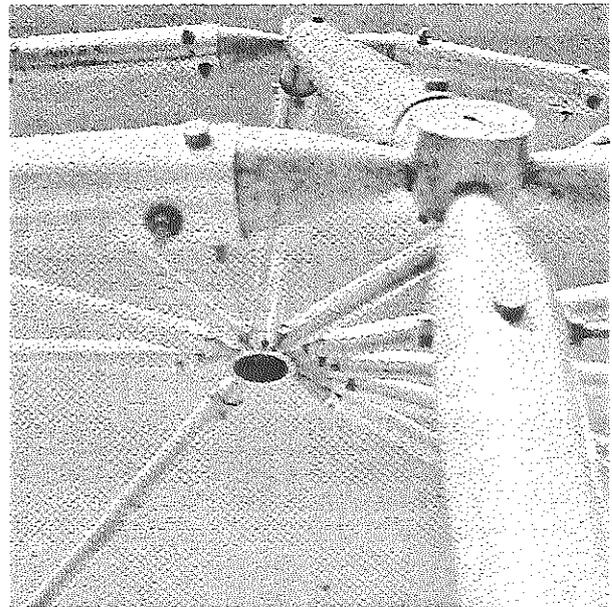
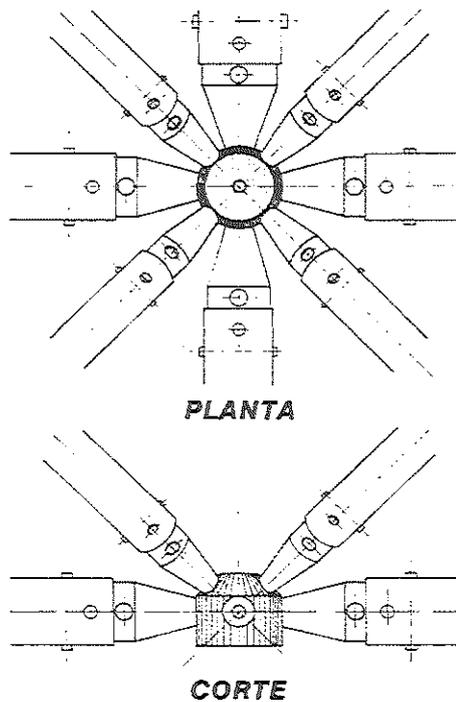


68. Nó com chapa de extremidade  
Fotografia Alusud

A empresa produzia, inicialmente, estruturas com nós típicos, com achatamento de barras. Passou a utilizar nós de aço aperfeiçoando a estampagem das barras, ou barras com chapas de extremidade. Ver também ilustrações 58 a 61.

## TRI-O-TEC

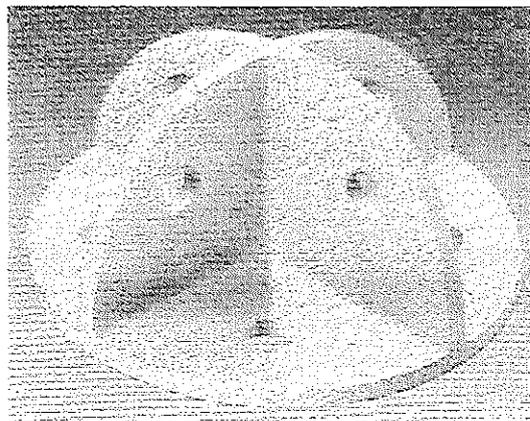
Produzido pela Space Engenharia, o sistema contou com a participação do professor Cedric Marsh, da Universidade de Concórdia, Canadá, responsável pelo projeto da cobertura do Pavilhão de Exposições do Anhembi. Era produzido em alumínio ou aço.



69, 70. Sistema Tri-o-tec  
Catálogo técnico

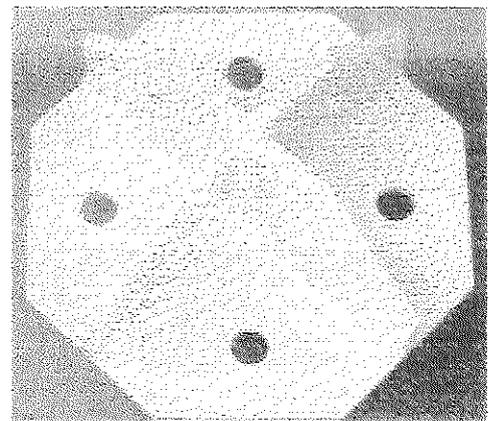
103

## METALNOX:



71. Nó Metalnox  
Publicidade

## TRIMETAL: NÓ TRIFORM



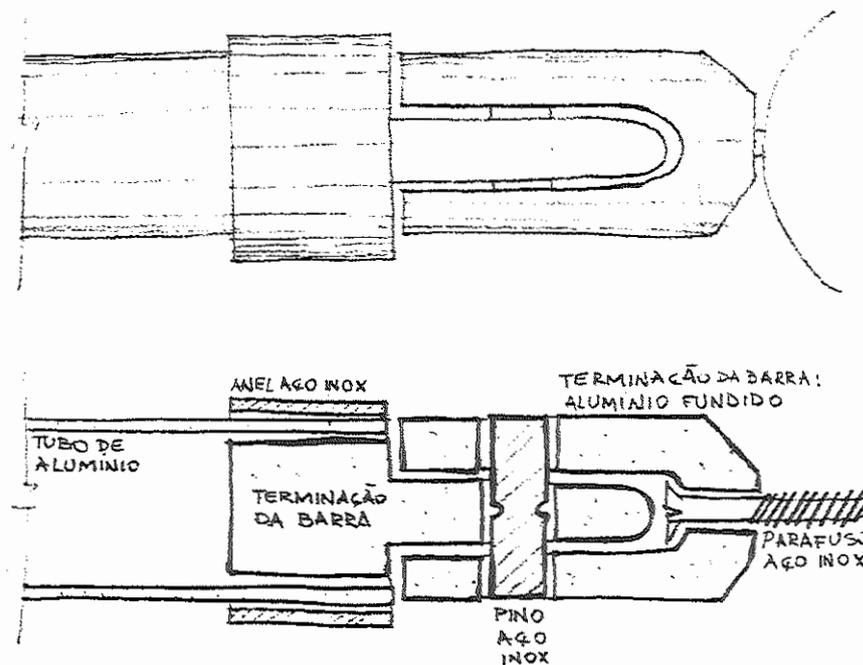
72. Nó Triform  
Publicidade

Os sistemas Metalnox e Trimetal se assemelham aos nós de aço. No entanto, não foram identificados outros detalhes dos sistemas com tipo de barras e forma de

junção (provavelmente barra amassada parafusada lateralmente nas abas), nem tampouco das empresas responsáveis

### Axis

Este último encontra-se em produção. Seu design é baseado no sistema Mero, com diferenças em relação à forma de montagem. O nó é esférico, com furos onde são afixadas as extremidades das barras. As extremidades das barras são separadas destas (ver imagem abaixo). A montagem e desmontagem são facilitadas pelo tipo de encaixe, mas este, segundo o professor Maximiliano Malite, do departamento de estruturas da EESC-USP, apresenta propensão ao rompimento (na peça da extremidade, próximo ao pino de travamento).



73. sistema Axis  
croqui do autor

## RENZO PIANO

### uma visão contemporânea de design estrutural/arquitetônico

# 5

“Talvez não haja nenhum arquiteto que melhor demonstre o completo potencial para uma prática reflexiva hoje do que Renzo Piano, como as realizações de seu *Building Workshop* amplamente comprovam.”<sup>1</sup>

Este capítulo não pretende fazer um levantamento da extensa e múltipla obra de Renzo Piano, mas daquela parte em que o arquiteto utiliza as questões projetuais levantadas neste trabalho – a obra arquitetônica como resultado do

---

<sup>1</sup> Frampton, K. *Studies in Tectonic Culture*. Cambridge, MIT Press, 1996. “There is perhaps no architect who better demonstrates the full potential for a reflective practice today than Renzo Piano, as the recent achievements of his *Building Workshop* amply testify.”

design das junções, dos nós como determinantes da forma da estrutura e, portanto, do próprio objeto arquitetônico.

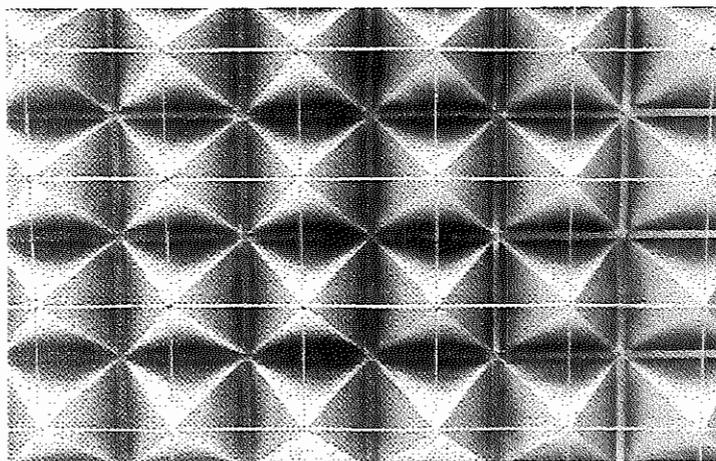
Piano desenvolve seu raciocínio sobre a qualidade técnica das junções. Nesta pesquisa dá-se prioridade às obras em que o arquiteto se debruça sobre o design do nó em projetos que utiliza estruturas espaciais, conforme definidas no capítulo anterior.

Renzo Piano nasceu em Gênova em 1937. Filho de construtor, freqüentou desde cedo canteiros de obras. Formou-se pelo Politécnico de Milão em 1964, onde fez parte da equipe de pesquisa em aplicações estruturais em plásticos, sob orientação do professor Giordani Forti. Entre 1965 e 1970 trabalhou com Louis I. Khan, na Filadélfia e com Z.S. Makowski em Londres.

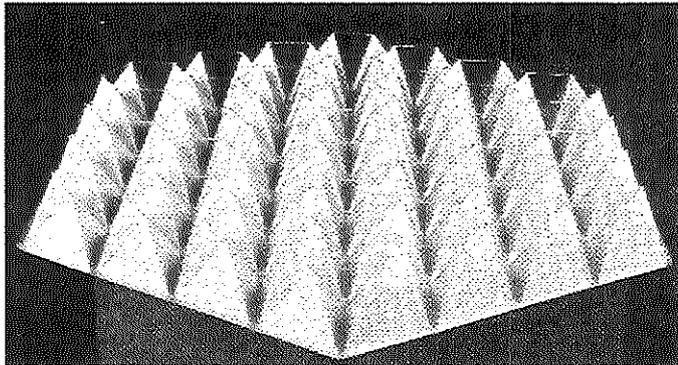
Renzo Piano iniciou sua carreira profissional com a prática experimental; pesquisou e desenvolveu sistemas de estruturas espaciais propondo alternativas ao modelo de estrutura espacial que pressupõe a utilização de barras metálicas unidas (articuladas) por um elemento de ligação.

106

Da colaboração com Makowski surgem as raízes do raciocínio estrutural de Piano. Makowski é um dos principais estudiosos de estruturas espaciais – a quem já insistentemente recorreu-se neste trabalho – e sua influência parece decisiva na obra de Piano, como mostram as ilustrações abaixo.

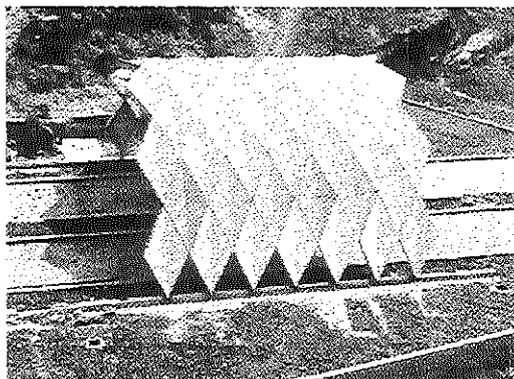


74. estrutura piramidal em poliéster reforçado projetada por Z. S. Makovski, década de 60  
Arts & Architecture, 8/1966

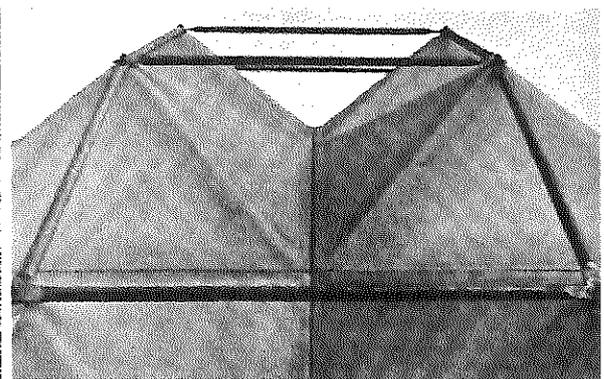


75. estrutura piramidal em poliéster reforçado projetada por Z. S. Makovski, década de 60  
Arts & Architecture, 8/1966

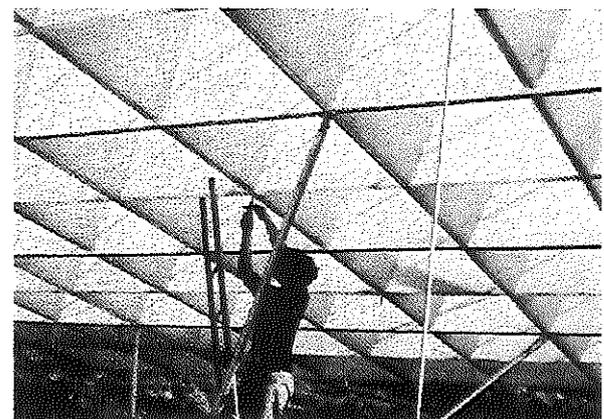
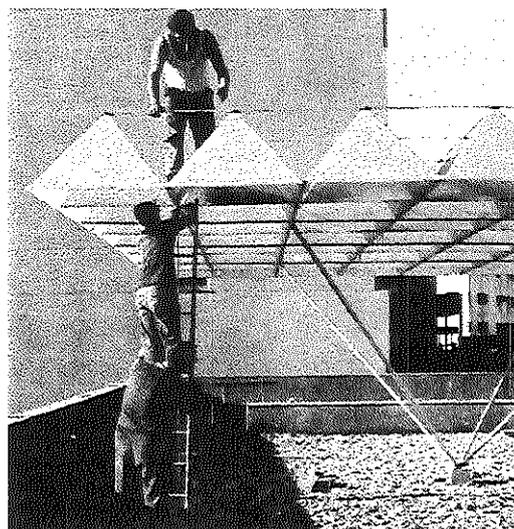
Na década de 60 houve uma grande quantidade de pesquisas com materiais plásticos. Buscava-se soluções arquitetônicas para o uso de plásticos como o poliéster e o PVC. Makowski e Piano foram dois dos mais importantes protagonistas desse período de experimentação.



76. abóbada composta de módulos de plástico reforçado desenvolvida por Piano – 1965  
Arts & Architecture, 8/1966



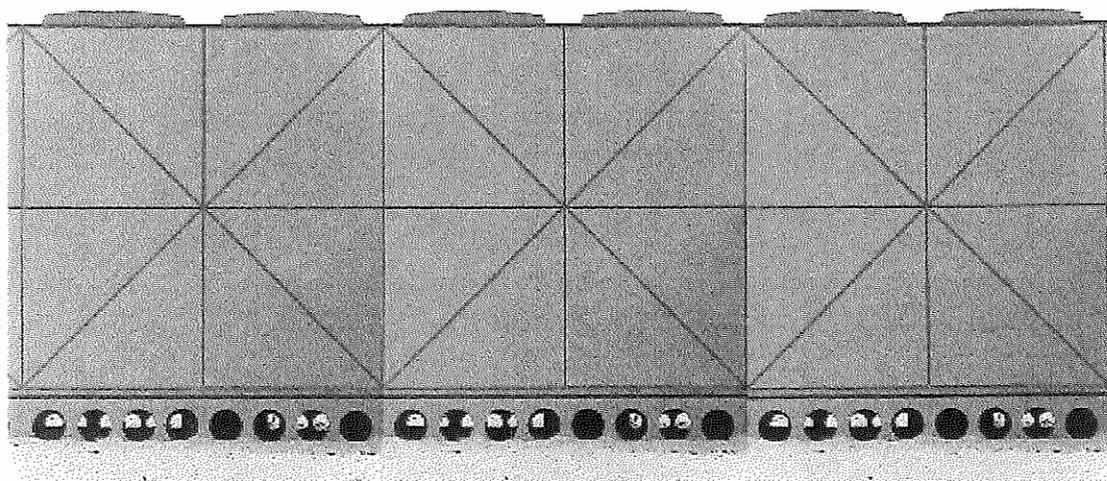
77. cobertura em módulos piramidais desenvolvida por Piano com a colaboração de outros jovens arquitetos e engenheiros italianos – 1964  
Domus 448, março/1967



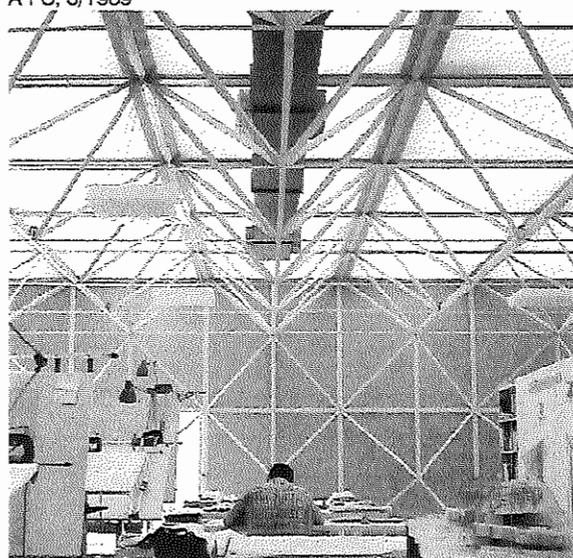
78, 79. cobertura em módulos piramidais desenvolvida por Piano – 1964  
Arts & Architecture, 8/1966

Essa prática marcou a postura projetual do arquiteto em toda sua carreira. Ele percorre todas as formas de estrutura espacial definidas por Makowski: coberturas em cabos, plissadas ou na forma mais disseminada de estrutura espacial, composta por tubos e nós para coberturas planas.

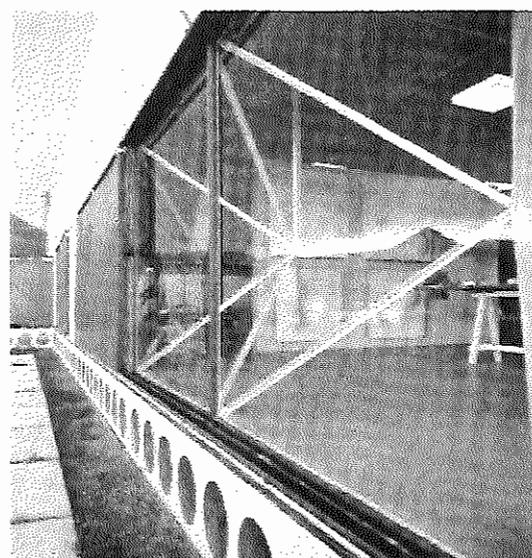
A influência de Makowski aparece em edifícios como no próprio escritório do arquiteto, seu Studio-Laboratorio (Office Workshop), de 1969. Nesse projeto, a estrutura espacial é executada em cantoneiras bastante delgadas, composta de elementos piramidais soldados. Parte do solo e prolonga-se pela cobertura, sustentando tanto os fechamentos laterais, onde se encaixam painéis pré-fabricados, como os painéis translúcidos da cobertura.



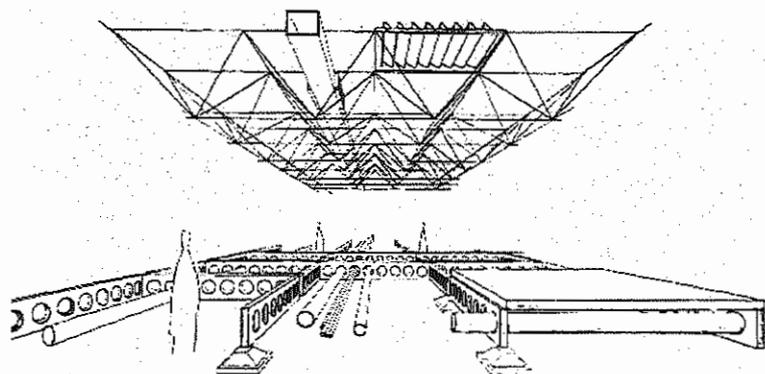
80. Renzo Piano, Studio Laboratorio (Office Workshop) – 1969: fachada  
A+U, 3/1989



81. Renzo Piano, Studio Laboratorio (Office Workshop) – 1969: interior  
A+U, 3/1989

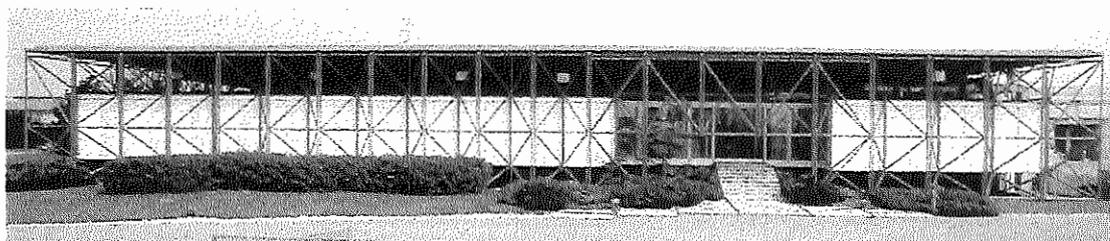


82. Renzo Piano, Studio Laboratorio (Office Workshop) – 1969: vista da fachada  
Domus 479, outubro/196



83. Renzo Piano, Studio Laboratorio (Office Workshop)  
 - 1969: croqui  
 Domus 479, outubro/1969

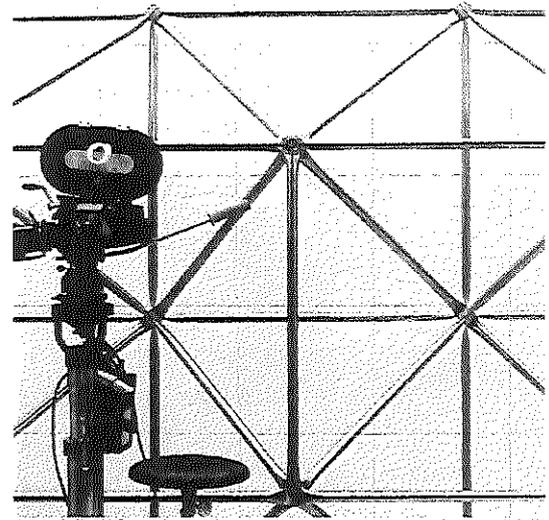
No B&B Italia Offices Building, projetado entre 1971 e 1973, Piano retoma a estrutura envolvendo todo o edifício. Dessa vez, usa treliças espaciais para compor pórticos, sustentando, novamente, tanto os fechamentos laterais como a cobertura. Utiliza tubos de seção circular.



109



84, 85. Renzo Piano: B&B Italia Offices Building, 1971-73  
 A+U, 3/1989

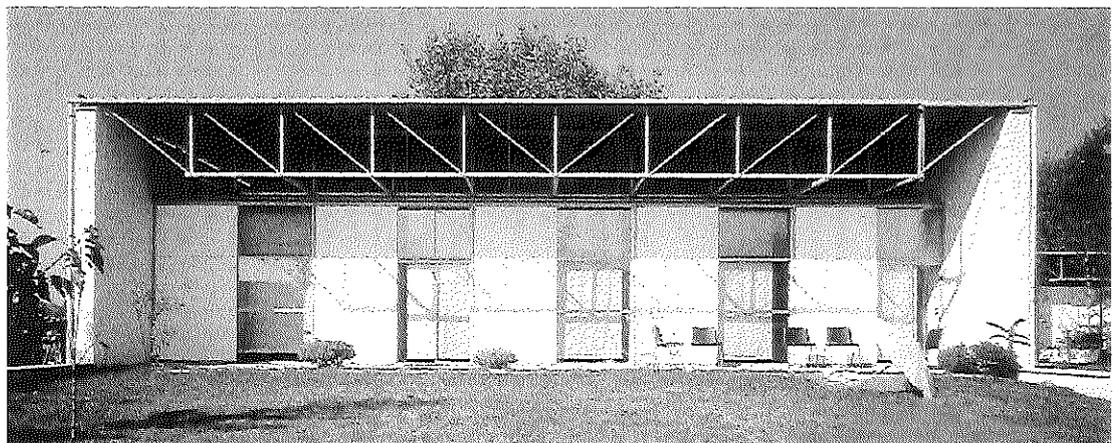


86. Renzo Piano: Open Site – 1979  
A+U, 3/1989

Também para as locações do programa The Open Site, de uma rede de televisão italiana, em 1979, pesquisou técnicas de construção industrializada em estrutura espacial, com uso de sistema em tubos de aço com barras de extremidades amassadas (nó típico).

Desenvolveu o projeto de um sistema para casa unifamiliar entre 1972 e 1974, onde o espaço entre a cobertura e o forro, ou seja, o espaço “ocupado” pela estrutura espacial, é utilizado para ventilação.

110



87. Renzo Piano: One-Family Homes – 1972/74  
A+U, 3/1989

Com o Arvedi Structural System, de 1984, buscou o desenvolvimento de um novo sistema tridimensional.



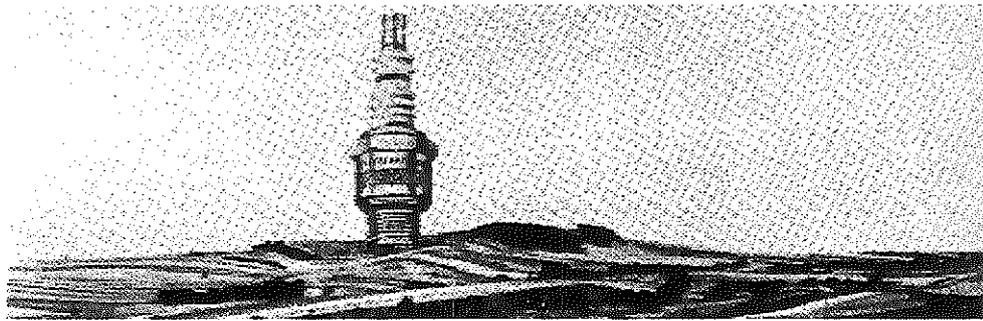
88. Renzo Piano: Arvedi Structural System – 1984, Cremona, Itália  
A+U, 3/1989

Em alguns projetos Piano recupera as experiências com plásticos, como no Pavilhão para a IBM, de 1983, que veremos mais adiante.

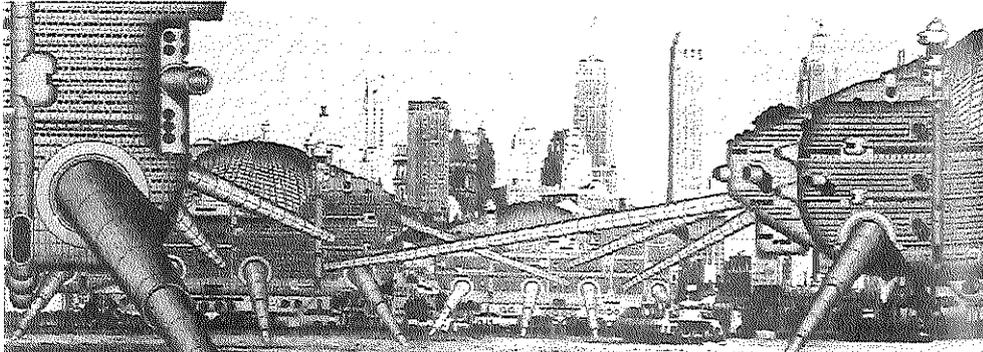
111

Piano trabalha sobre a idéia da expressão do edifício por sua armação, e seu posicionamento em relação ao tratamento dado a ela acrescenta ao seu trabalho um status importante se pensarmos em um senso de atualidade. Esta atualidade busca a retomada da honestidade frente ao objeto arquitetônico construído. Uma recente edição da revista *l'Architecture d'Aujourd'hui* (maio/99) é dedicada à defesa do detalhamento do projeto como inserção de procedimentos tecnológicos e de uma tectônica da armação e das junções. O arquiteto procura uma posição de dignidade da prática da profissão, contrariando os devaneios que tomaram lugar principalmente a partir da década de 60, com o pós-modernismo e a arquitetura encarada como produto comercial.

De 1970 a 1977 colaborou com Richard Rogers, com quem faz surgir, na década de 70, o Beaubourg, o primeiro edifício a ser considerado como representante de uma vertente com ênfase em alta tecnologia, depois de anos de movimentos e projetos utópicos que faziam da técnica industrial e da tecnologia a possibilidade de redenção da sociedade, e dos projetos que ironizavam as potencialidades da indústria estilizando seus próprios recursos.



89. Hans Hollein, High Rise Building - objetos de tecnologia moderna transplantados para o campo da arquitetura e do planejamento: vela para motor – 1965  
Arts & Architecture, maio/1966



90. Ron Herron: Walking City – 1964 : “... o Archigram estava mais interessado no apelo sedutor do imaginário da era espacial, e, segundo Fuller, nos matizes ‘armagedônicos’ de sobrevivência tecnológica, do que nos processos de produção ou na relevância de uma técnica tão sofisticada para as tarefas do momento.” – Frampton, 1997

112

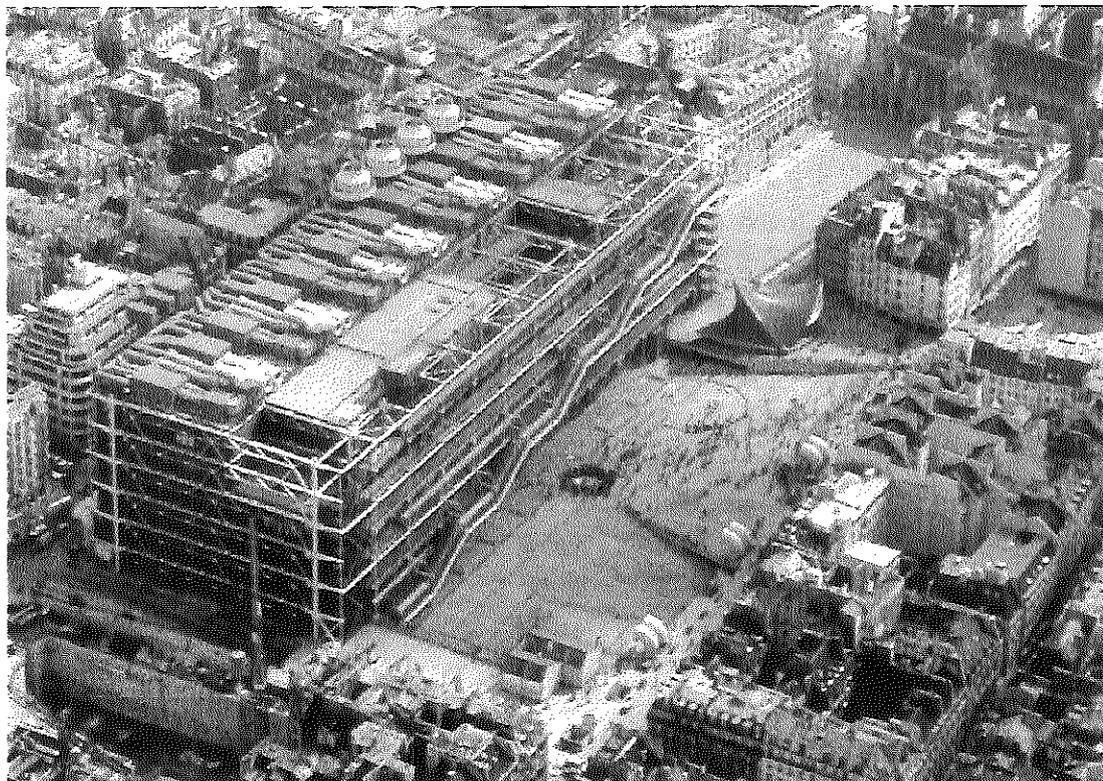
High Tech, ou Alta Tecnologia, foi o termo utilizado pela mídia para expressar a corrente que utiliza os mais avançados meios materiais e científicos para a concepção e produção do edifício. Se considerarmos toda a arquitetura abordada neste trabalho, do século XIX em diante, tal recurso está presente em todas as proposições que souberam detectar o “espírito” tecnológico de seu tempo. Ou seja, a alta tecnologia está presente respeitando a escala do progresso tecnológico num determinado momento histórico. É essa sensibilidade que justifica as transformações ocorridas na arquitetura desde então.

Para Otilia Arantes, o Beaubourg é um experimento crucial para a arquitetura contemporânea, ao mesmo tempo que é um chamariz publicitário (em relação à nova política cultural francesa) e “uma embalagem de desenho high tech”.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Arantes., O. op. cit.

Para Frampton, “uma realização da retórica tecnológica e infra-estrutural do Archigram... Em termos de design, representa a abordagem da indeterminação e da flexibilidade ideal levadas a seus extremos”.<sup>3</sup>



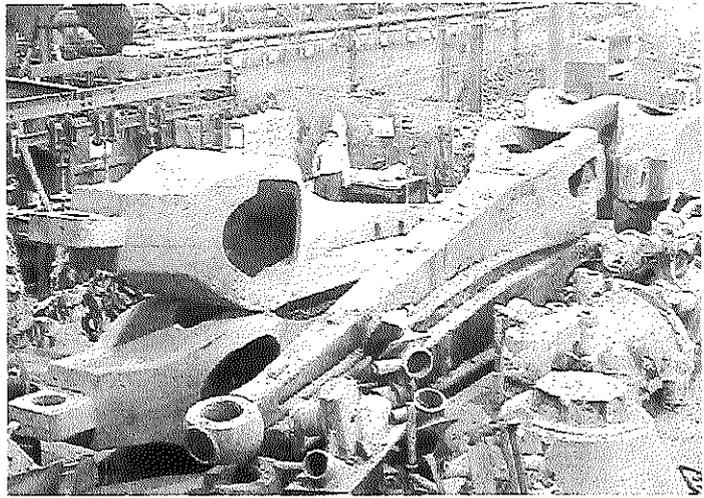
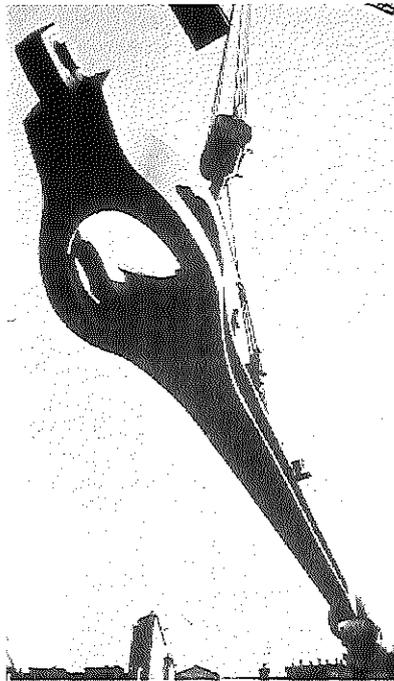
91. Renzo Piano e Richard Rogers, Centro Georges Pompidou (Beaubourg), 1972/77  
A+U, 3/1989

O sistema de produção de componentes estruturais utilizado no Beaubourg, a fundição do ferro, remonta ao século XIX. Isto pode ser considerado um retorno às origens da utilização de recursos industriais na produção do edifício, mas não exatamente um retorno ao artesanato. A gênese da produção de edifícios em estrutura metálica deu-se através da utilização do ferro fundido, para a partir do século XIX ser substituído pelo aço, alumínio ou outras ligas. A postura dos arquitetos lembra o posicionamento de Morris, que ao mesmo tempo atacava os encaminhamentos da sociedade industrial e propunha um retorno ao trabalho

---

<sup>3</sup> Frampton, K. *História crítica da arquitetura moderna*. São Paulo, Martins Fontes, 1997

artesanal como resgate de uma tradição e de uma dignidade e domínio do homem em relação ao seu próprio trabalho.



92, 93 Centre Georges Pompidou – 1971/77 elementos estruturais – “nó”  
A+U, 3/1989

A figura da técnica, no entanto, protagonizou a polêmica em torno do Beaubourg. O edifício, segundo Spadoni, “representava um falso problema de produção industrial. A imagem de seus grandes componentes estruturais induzia a um relançar da importância dos sistemas produtivos industriais em arquitetura, mas sua verdade construtiva era a da artesanaria”<sup>4</sup>. A idéia de artesanato expressada nessa afirmação pode parecer equivocada. Acontece a retomada de métodos industriais arcaicos, mais comuns ao século XIX, mas não por isso a produção deixa de ser industrial. Spadoni procura demonstrar que os componentes estruturais no Beaubourg, os nós, são produzidos através de forja, o que está no centro de uma discussão quanto ao caráter produtivo. O nó é a crítica. Se o Beaubourg é projetado e construído (e o conceito de produção é muito importante nesse momento: *techné*) como uma ironia ao industrialismo, a ironia reside no nó forjado, indício de uma produção artesanal. Mesmo com grande parte dos

---

<sup>4</sup> Spadoni, F., op. cit.

componentes do edifício sendo produtos da indústria, como tubos e tirantes, o nó tem em si a auto-suficiência de crítica.

O projeto tomado por uma expressão de personalização – expressão do arquiteto num objeto de produção industrial – coloca uma dúvida sobre desenho industrial e construção industrializada, que demonstrava resfriamento com sucessivas experiências mal sucedidas nas décadas anteriores, principalmente na França e na Inglaterra. Reabre as possibilidades de validação de produção por sistemas industriais. Mas o faz de maneira diferenciada ao sentido então comum, principalmente naquele entendido pela produção em série de edifícios idênticos. A técnica é agora utilizada na fabricação de um objeto único, que considera outros fatores, como o lugar ou a expressão do arquiteto como autor, e a própria crítica ao instrumento que utiliza: a técnica da indústria. Busca revisar o papel da indústria num momento em que a mecanização passa a dar lugar à informatização. Não se pode acreditar na retomada ao artesanato em sua forma original. O que vemos aqui é a introdução do artesanato no processo de desenho industrial, e essa etapa é inerente a todo e qualquer processo de desenho industrial. A etapa onde é necessário dispor de criatividade no desenvolvimento do produto recorre às técnicas do artesanato.

A indústria, num momento anterior, dependia da produção de grandes séries para obter retornos financeiros sobre os investimentos feitos em instrumentação e ferramentaria para a produção. Com a introdução da informática nos processos, controles numéricos, CAD, CAE, CAM, as séries puderam se tornar menores, chegando ao extremo da série única, um único objeto produzido, tendo, assim mesmo, a necessidade do *industrial design*.

A obra de Piano está impregnada de indícios da técnica industrial e da alta tecnologia, ao mesmo tempo que nega o rótulo de arquitetura High Tech e assume uma postura crítica em relação ao industrialismo. Grande parte dos componentes de suas obras são fruto do avanço tecnológico. Não há pregos ou cavilhas, mas colas desenvolvidas obviamente por uma indústria química; os elementos não são rudimentares nem tampouco peças de artesanato. São produtos de uma caprichosa prática de detalhamento e de desenho industrial. Suas tendas pouco tem em comum com a tecelagem artesanal; há elementos transparentes, polímeros, tubos

Entretanto, a utilização de elementos ditos de alta tecnologia na obra de Piano é altamente justificada e não remete àqueles arquitetos que se utilizam da imagem tecnológica. Em momento algum conotam exibicionismo ou exagero, mesmo tendo o arquiteto assumido que suas obras possam ter alto custo de execução. Esta é uma conotação que o modernismo não permitia: a técnica era o meio de promover a sociedade e a produção de massas. Dal Co, sobre o aspecto tecnológico, afirma:

“Abandonando a linguagem bombástica que fez do Centro Pompidou em Paris (1971-1977) uma ruidosa mas atrasada expressão, Piano, com seus mais recentes projetos, do museu para a Menil Collection em Houston (1981-83) aos seus diversos projetos dos anos setenta, parece ser deliberadamente experimental com um eficiente e racional uso da tecnologia isento de qualquer linguagem bombástica formal. Como “máquinas” sem ostentação, os projetos de Piano possuem o mérito de aderir a uma funcionalidade extrema mesmo quando seus propósitos específicos poderiam estimular um exibicionismo narcisista”.<sup>5</sup>

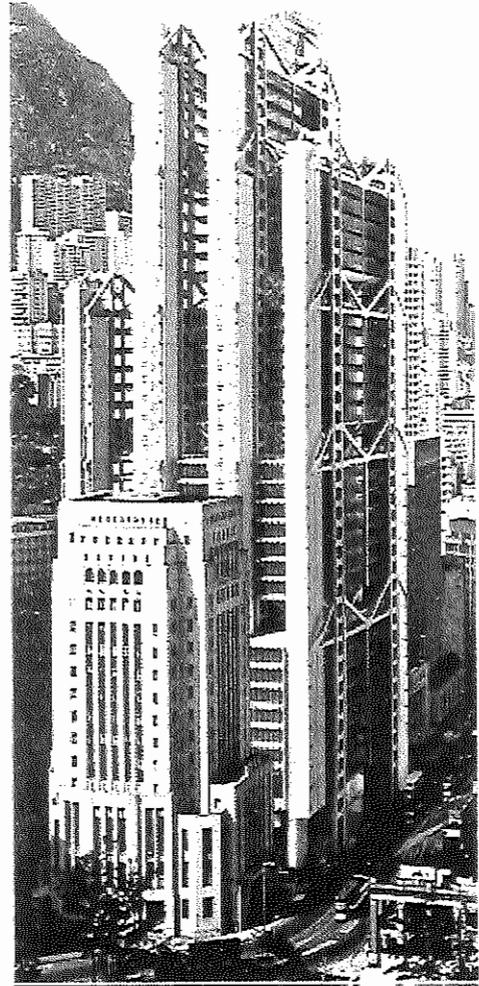
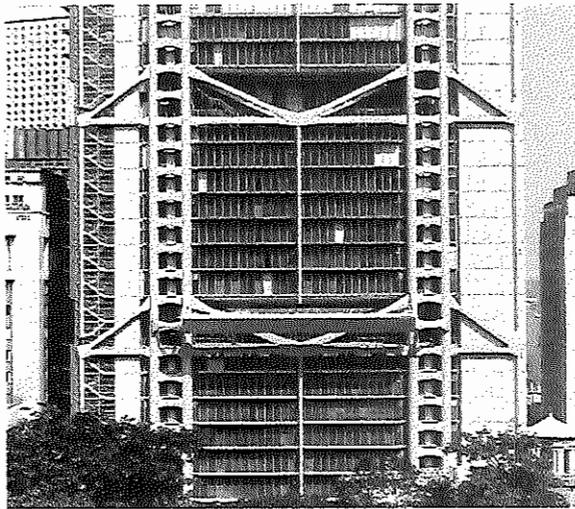
Sua afirmação remete a obra de Piano a aspectos do modernismo.

116

Norman Foster e Richard Rogers, arquitetos com reconhecida dedicação à ênfase em tecnologia, demonstram maior preocupação com a atribuição de um imagem tecnológica a seus edifícios. A função figurativa da técnica/tecnologia muitas vezes assume caráter publicitário, correndo o risco de se aproximar demais de uma arquitetura-mercadoria.

---

<sup>5</sup> Dal Co, Francesco. *1945-1985: Italian Architecture between Innovation and Tradition*. In Celant, Germano, ed. *The European Iceberg*, New York, Rizzoli, 1985: “Abandoning the avant-gard bombast that made the Pompidou Center in Paris (1971-1977) a noisy but belated utterance, Piano, with his most recent projects, from the museum for the Menil Collection in Houston (1981-83) to his diverse urban designs of the seventies, seems to be deliberately experimenting with an efficient and rational use of technology devoid of any formal bombast. As unostentatious “machines”, Piano’s projects have the merit of adhering to an extreme functionality even when their specific purposes could stimulate narcissistic exhibitionism”.



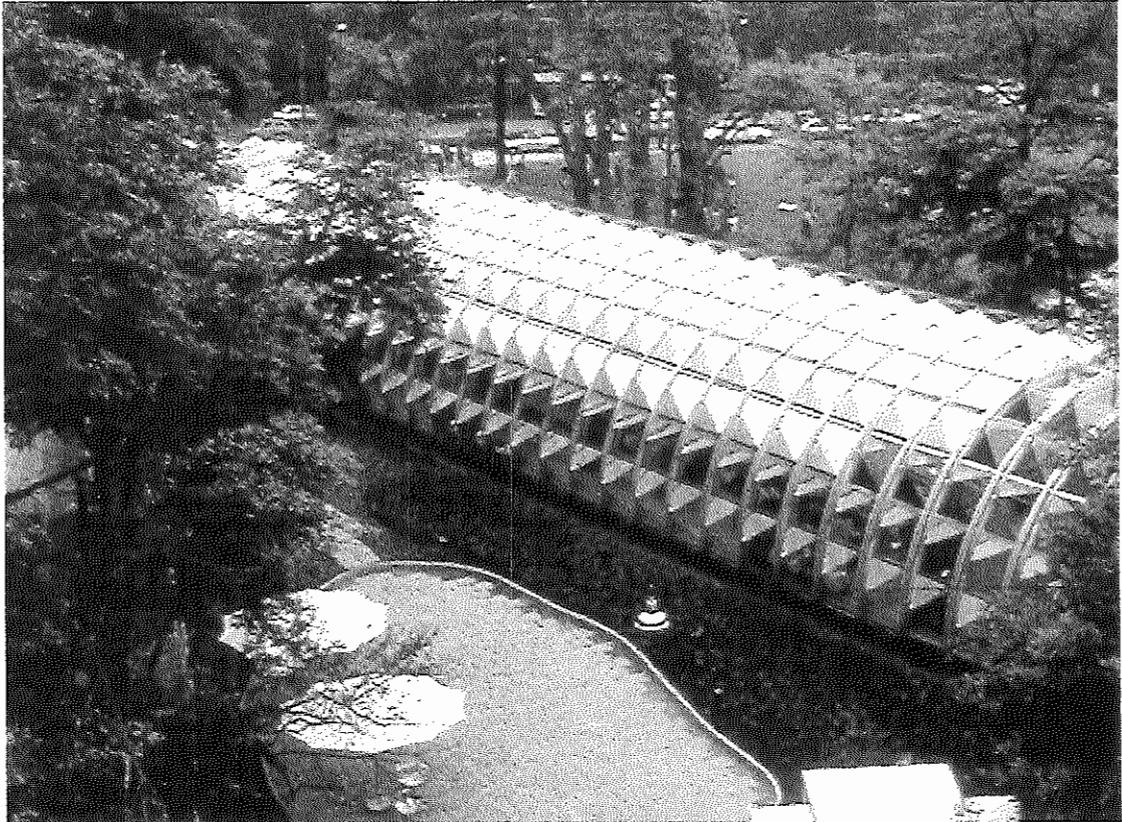
94, 95. Foster Associates, sede da Honk Kong and  
Shanghai Banking Corporation, 1979/84  
Frampton, 1997

Um dos projetos que possibilita traçar um quadro de referências na prática projetual do arquiteto e verificar a ênfase que dá ao design, especialmente ao detalhamento dos nós é o pavilhão projetado para a empresa IBM. Este projeto foi decisivo na eleição de Piano como caso a ser estudado nesta pesquisa.

Em 1989, na edição da revista A+U dedicada à obra do arquiteto Renzo Piano, o crítico Reyner Banham declarou que:

"... de todos os edifícios projetados por Renzo Piano, o que é mais entusiasticamente admirado é ainda pavilhão de exposições itinerante para a IBM de 1983. Outros projetos de Piano podem ser mais conhecidos ou mais freqüentemente elogiados, mas nenhum tem o poder de direcionar seus admiradores a uma explicação extensa e detalhada, os mesmos enfatizando e

utilizando palavras precisas para descrever sua felicidade de concepção e execução”.<sup>6</sup>



118

96. Renzo Piano: IBM Travelling Pavilion – 1982/4 : “Este objeto é uma obra de arte arquitetônica por si só, a complexidade de suas funções e conexões é uma composição arquitetônica mais rica que muitos edifícios completos” Reyner Banham  
A+U, 3/1989

Banham atribui o sucesso e a admiração pelo edifício por conseguir satisfazer aos mais variados “gostos”:

“... como um invólucro facetado e envidraçado normalmente visto em arredores de jardins ele realiza as visões ancestrais do Movimento Moderno, do Glasarchitektur de Paul Scheebart retornando ao Cristal Palace de Joseph Paxton e além; por ser leve, transportável e temporário realiza os sonhos de visionários mais recentes como Buckminster Fuller; seu perfil não retangular satisfaz a aversão pós-modernista dos sólidos elementares do Estilo Internacional, e seu exoesqueleto

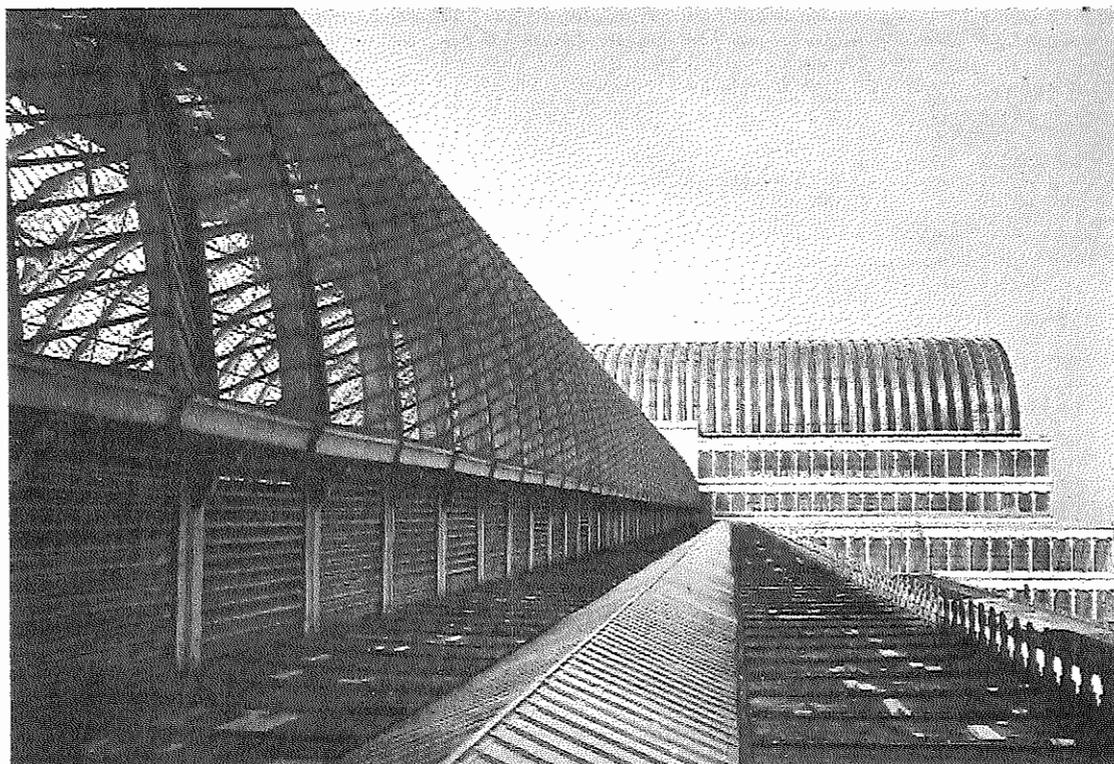
---

<sup>6</sup> Banham, Reyner. Making Architecture: The high Craft of Renzo Piano. In A+U, Renzo Piano Building Workshop: 1964-1988, Tokyo, 1989

exposto dá a ele afinidade àquela “outra” tradição modernista – do Construtivismo, Futurismo, etc. ...”

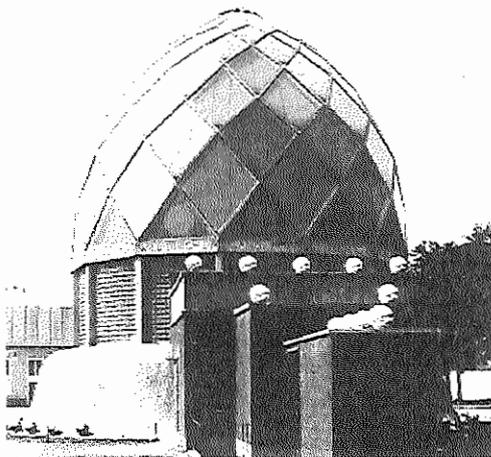
O pavilhão remete a várias imagens ligadas à própria história da pesquisa técnica moderna em arquitetura e ao trajeto percorrido, como sintetizou Banham.

Refazendo brevemente o percurso histórico, a primeira imagem é a do Cristal Palace, de 1851, obra do “jardineiro” Joseph Paxton para a exposição universal de Londres, elaborada a partir de um pré requisito básico para o projeto, a do curto período para construir uma área de 7,2 hectares. O edifício é concebido inteiramente com peças padronizadas, elementos pré-fabricados de ferro fundido e placas de cristal. Assim como no Cristal Palace, a estrutura de Piano permite ao edifício se misturar com a paisagem através de suas transparências.

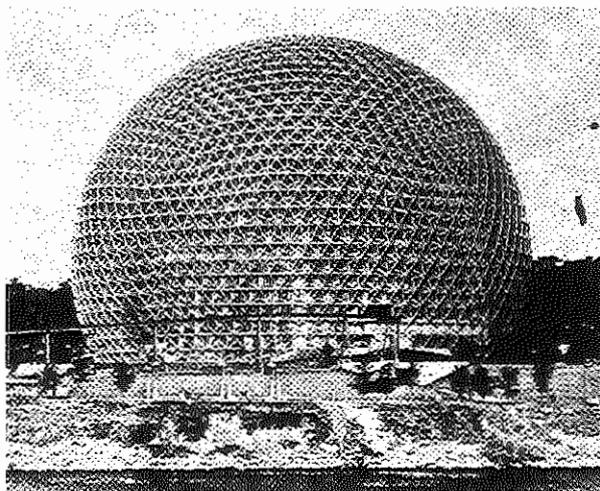


97. Joseph Paxton, Cristal Palace – 1851  
Pevsner, 1996

Outra referência importante é a Casa de Vidro de Bruno Taut para a exposição da Werkbund em 1914, com uma cúpula prismática predizendo as realizações de Buckminster Fuller. Fuller é um inventor e, como tal, desenvolveu diversos sistemas de estruturas espaciais, principalmente geodésicas, patenteando diferentes desenhos de nós. Uma de suas obras mais espetaculares é o pavilhão dos Estados Unidos para a exposição universal de Montreal de 1967.



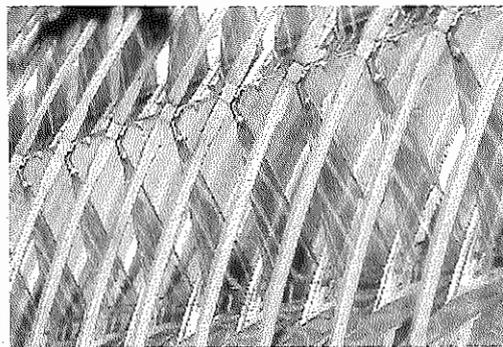
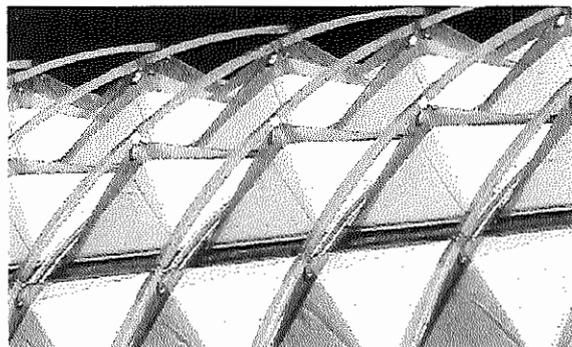
98. Bruno Taut, Galss House, 1914  
Pevsner, 1996



99. Richard Buckminster Fuller, Exposição Universal  
de Montreal – 1967  
Argan, 1993

O pavilhão para a IBM é composto de 34 arcos armados em madeira de faia; cada arco sustenta 12 pirâmides de policarbonato fixas por peças de alumínio (nós). O conjunto mede 48m de comprimento, por 12m de largura e 7m de altura. As placas de plástico trabalham no lugar das barras diagonais, fazendo o contraventamento da estrutura.

120



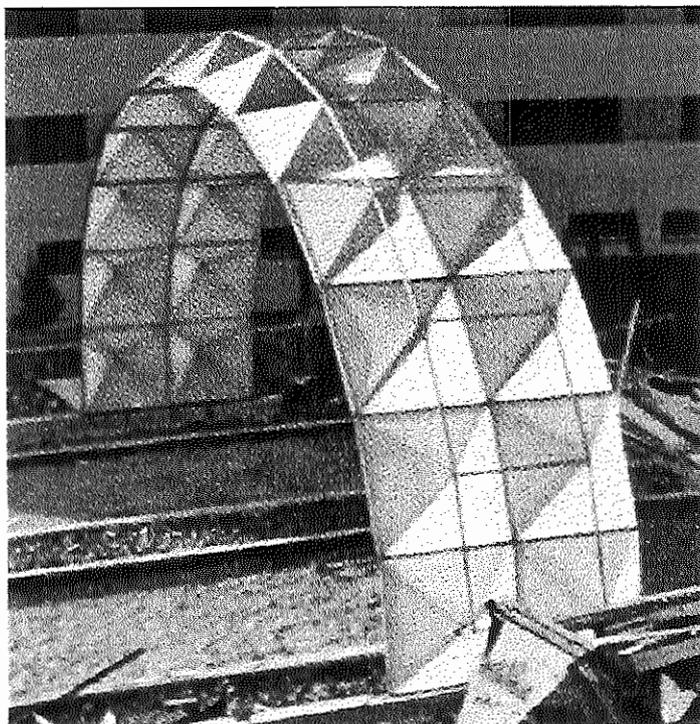
100, 101. Renzo Piano, IBM Travellin Pavilion – vistas externas da estrutura  
A+U, 3/1989

Piano afirmou que “o pavilhão de exposição itinerante da IBM construído em 1983 foi uma grande experiência em artesanato do protótipo (*prototype craftsmanship*)”<sup>7</sup>. A produção do protótipo é uma das etapas constantes dos métodos de projeto de produtos industriais, e a obra de artesanato não tem

---

<sup>7</sup> *Piano in conversation*. Entrevista concedida a Roberto Fabri, in A+U, Renzo Piano Building Workshop: 1964-1988, Tokyo, 1989

protótipo, mas o próprio produto. O edifício é projetado com o uso da linguagem do desenho industrial. Há uma dualidade entre produto final e protótipo, que é um instrumento de desenvolvimento de produtos industrializados e que foi utilizado pela equipe de Piano. Essa experiência remonta a 1964, quando Piano realizava pesquisas com poliéster reforçado (GRP, *Glass Reinforced Polyester* – fibra de vidro) e estruturas piramidais, chegando a criar um sistema produzido e comercializado por sua empresa (ver figuras 4.3 a 4.6 e 4.28).

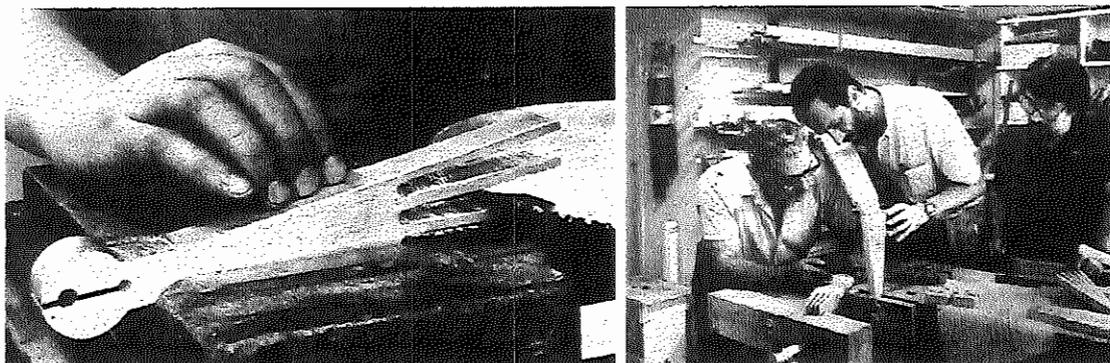


102. Renzo Piano, protótipo – 1964  
"A estrutura é composta de unidades piramidais de base quadrada em poliéster reforçado translúcido, medindo 1,20x1,20m, 0,60 de altura, 10 kg de peso, e uma grelha de tubos de alumínio unidos um ao outro e às pirâmides por meio de conectores de aço. Os elementos tem ao mesmo tempo função estrutural e de cobertura."  
Domus 448, março/1967

É difícil considerar a artesanidade do pavilhão se considerados os seguintes dados: o pavilhão para a IBM possui, considerando a parte visível externamente do edifício (identificados por fotografias), 340 peças idênticas de madeira em sua estrutura; 680 conexões de alumínio que ligam as peças de madeira a 428 nós de alumínio, ligados por sua vez a 428 pirâmides de policarbonato, todos milimetricamente ajustados para uma montagem sem necessidade de ajustes no "canteiro de obras". Ora, se a produção desse edifício, que na sua visão (do arquiteto) é um protótipo, é artesanal, o que são essas peças senão a confirmação do processo e da técnica e a contraposição ao discurso? Não podemos considerar a produção de uma série limitada de elementos e mesmo assim continuarmos a ter uma série produzida industrialmente? Em se

tratando de desenho industrial, podemos identificar 3 tipos de produção industrial: em série, por lote, ou por encomenda. Nos últimos anos, indústrias vêm adotando séries cada vez menores, graças à capacidade de adaptação instrumental e também por uma necessidade de adaptação aos mercados, tendendo ao que se denomina produção flexível.<sup>8</sup>

Piano afirma que está sempre fazendo protótipos. Não chega a propor o edifício industrializado, como nos sistemas fechados das décadas de 60 e 70 (com exceção de alguns casos de sistemas para habitação). Suas propostas se concentram sempre na etapa artesanal. “O significado moderno de artesanato (craftsmanship) está no estágio da produção que precede o estágio industrial: o protótipo”.<sup>9</sup>



103, 104. Renzo Piano, confecção de protótipos para o pavilhão IBM

Se o Beaubourg dá margens à dúvida sobre o teor de industrialização de suas partes, no pavilhão IBM está expressa com clareza. Os diversos revestimentos de proteção e um revestimento último que retoma a visualidade da estrutura escondida do Beaubourg não estão presentes no pavilhão. Os materiais que “trabalham” estão à mostra, o que confirma seu raciocínio estrutural.

O pavilhão comprova a postura de Piano de dar ênfase aos aspectos construtivos do edifício. Todos os elementos possuem características, são essenciais para a concepção da obra.

---

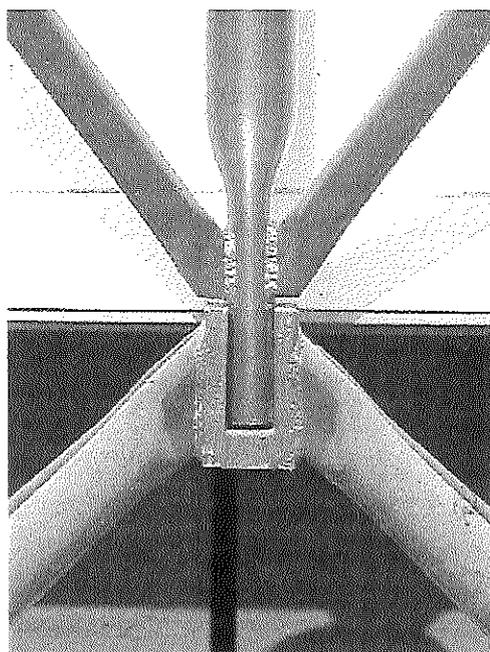
<sup>8</sup> Fabrício, M. M.

<sup>9</sup> *Piano in conversation*

*“... todo elemento que não tiver característica construtiva não deve ser lido como essencial para a arquitetura”<sup>10</sup>.*

## OS NÓS DE PIANO

Nos diversos projetos desenvolvidos, Piano dedica grande parte dos esforços no desenvolvimento das junções, onde os nós estruturais recebem a maior atenção:



No B&B Italia Offices Building, utiliza tubos de seção circular e os nós são formados pela junção desses tubos através de solda.

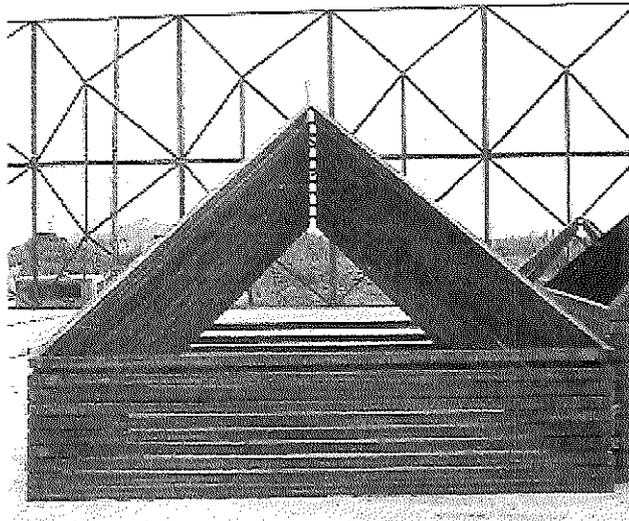
Nos nós que ligam os pórticos à fundação ocorre uma junção que permite a articulação entre as partes.

123

105. Renzo Piano, B&B Italia Offices Building - 1971/73  
A+U, 3/1989

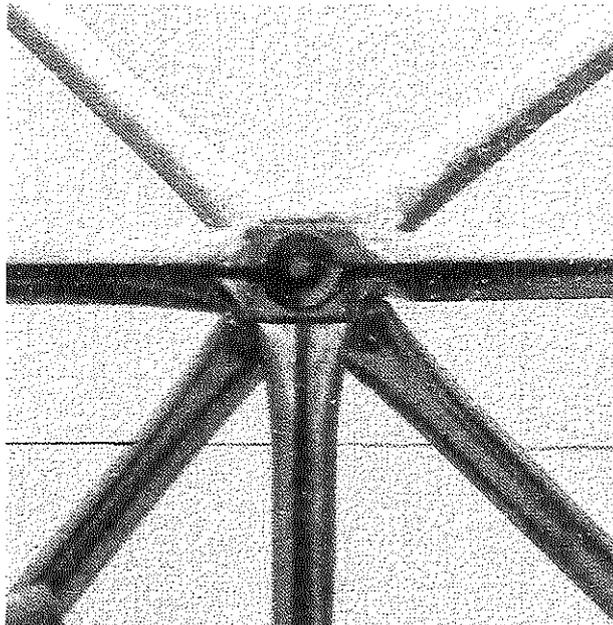
---

<sup>10</sup> in Casabella 474/5, 1981, p. 95



“O componente tetraédrico em aço é projetado para dar grande flexibilidade de uso, de fácil manufatura e transporte, empilhamento, manuseio no canteiro e montagem”. Não existe um nó propriamente dito.

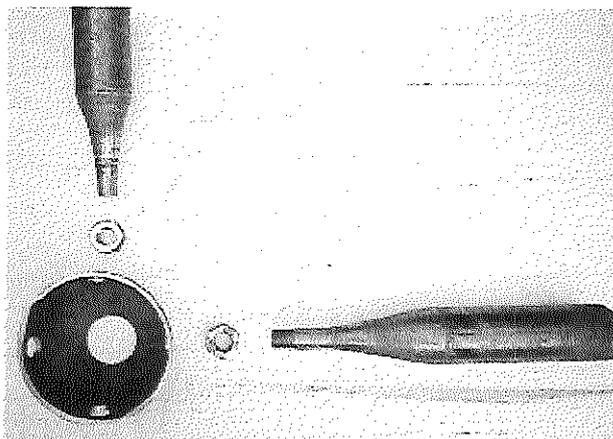
106. Renzo Piano, Office Workshop – 1968/69  
A+U, 3/1989



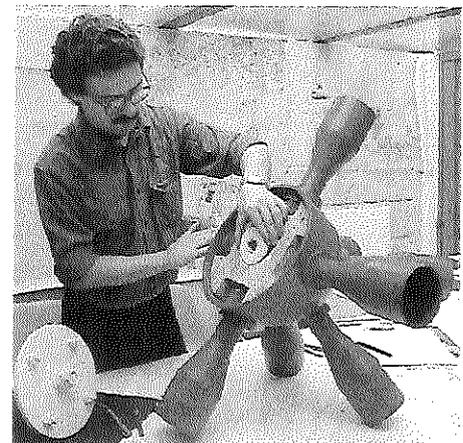
No sistema para o programa televisivo Open Site, Piano utiliza um sistema parecido ao que definimos como “nó típico” no capítulo anterior. As barras tem suas extremidades achatadas, com a conexão realizada por um único parafuso.

124

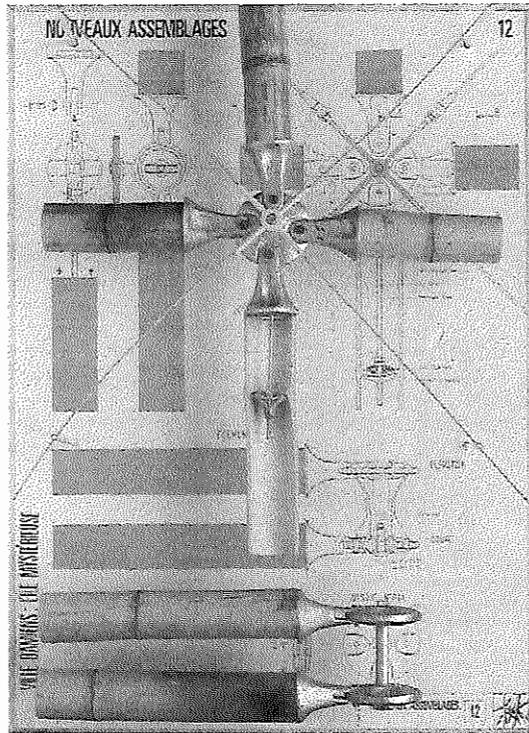
107. Renzo Piano, Open Site – 1979  
A+U, 3/1989



108, 109. Renzo Piano, Arvedi Structural System – 1984  
A+U, 3/1989



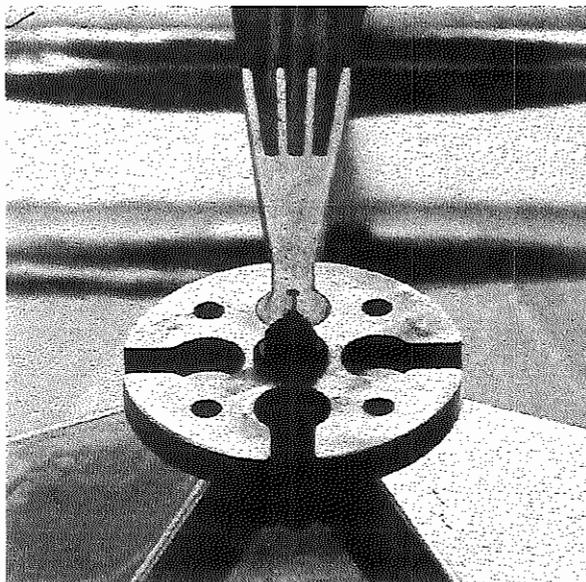
No Sistema Estrutural Arvedi, desenvolvido em conjunto com a fábrica de canos de mesmo nome, Piano usa um hemisfério de aço onde, segundo o arquiteto, pode-se unir até 12 tubos. Foi proposto preencher ao hemisfério com uma tampa de concreto para prevenir sua flexão.



Este sistema foi proposto para um concurso. Os nós são de alumínio fundido. O curioso está na ousadia do arquiteto em propor as barras produzidas em bambu.

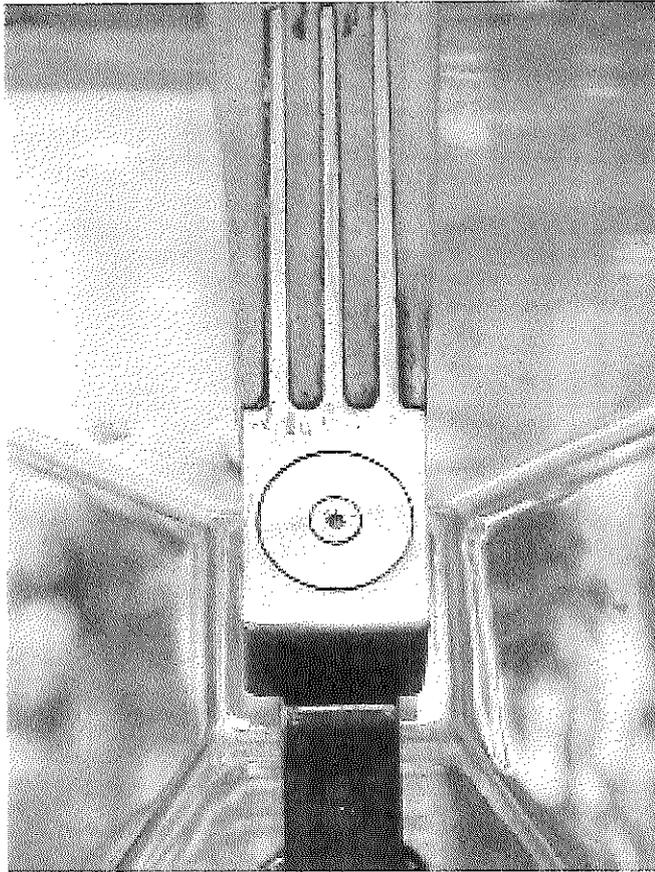
110. Renzo Piano, Concurso para o Jules Verne Leisure Park – 1986  
A+U, 3/1989

125



Este foi o modelo de nó projetado ante do modelo definitivo. São peças de alumínio fundido onde se encaixam as terminações das barras de madeira.

111. Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion  
A+U, 3/1989



Nó fundido em alumínio utilizado na versão final do pavilhão para a IBM.

112. Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion  
A+U, 3/1989

126

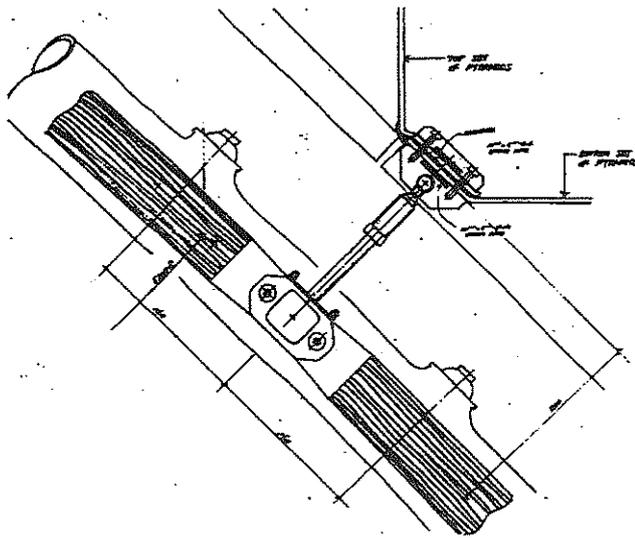
## DETALHES DO IBM TRAVELLING PAVILION

O que inspira admiração por esse edifício é o detalhamento, a forma na qual elementos individuais da estrutura foram projetados, a forma como foram juntados e, sobretudo, as próprias juntas, a delicadeza de tratamento, a estrutura espacial formada pelas pirâmides que substituem as barras, tornando-as transparentes: "... as nervuras<sup>11</sup> e as pirâmides de plástico transparente trabalham juntas para formar uma estrutura (treliça) tridimensional complexa, cujo todo é maior que as partes".<sup>12</sup>

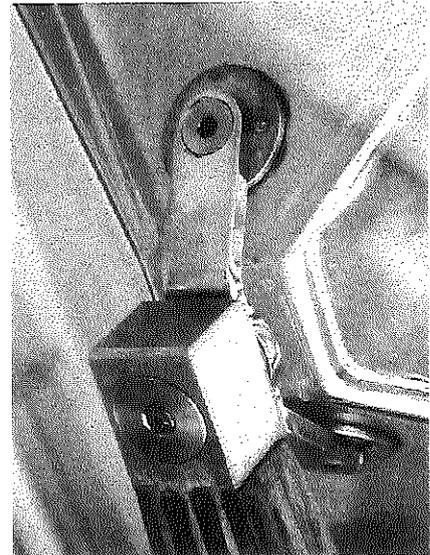
---

<sup>11</sup> do termo utilizado em inglês *ribs*, o que também significa costelas, criando uma curiosa analogia, ou ainda vigas ou varetas de guarda-chuva

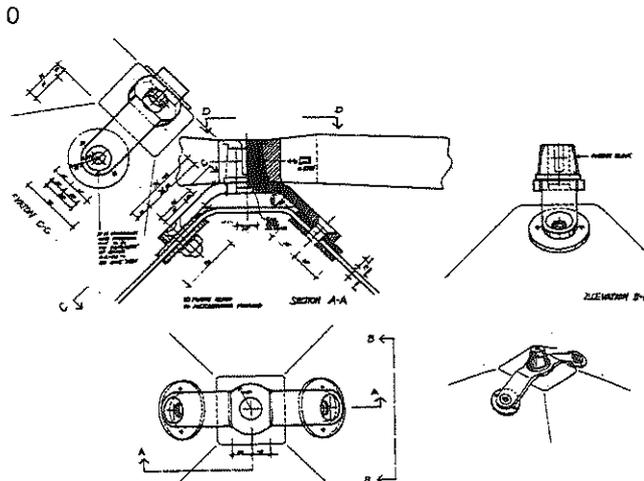
<sup>12</sup> Banham, R.



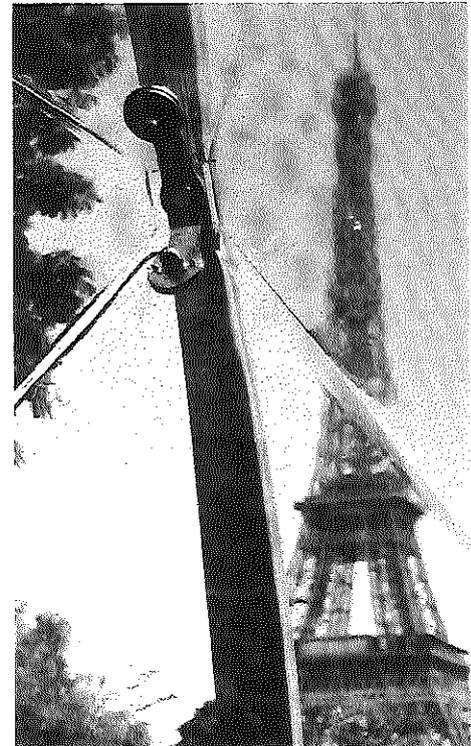
113. Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion  
GA 11/1984



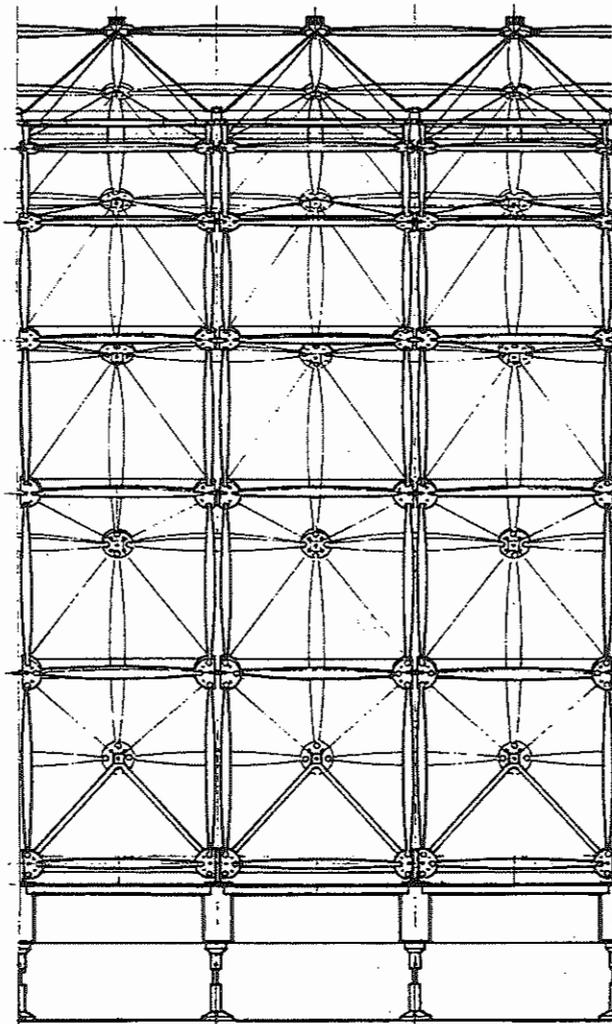
114. Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion  
A+U, 3/1989



115. Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion  
GA 11/1984



116. Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion  
GA 11/1984

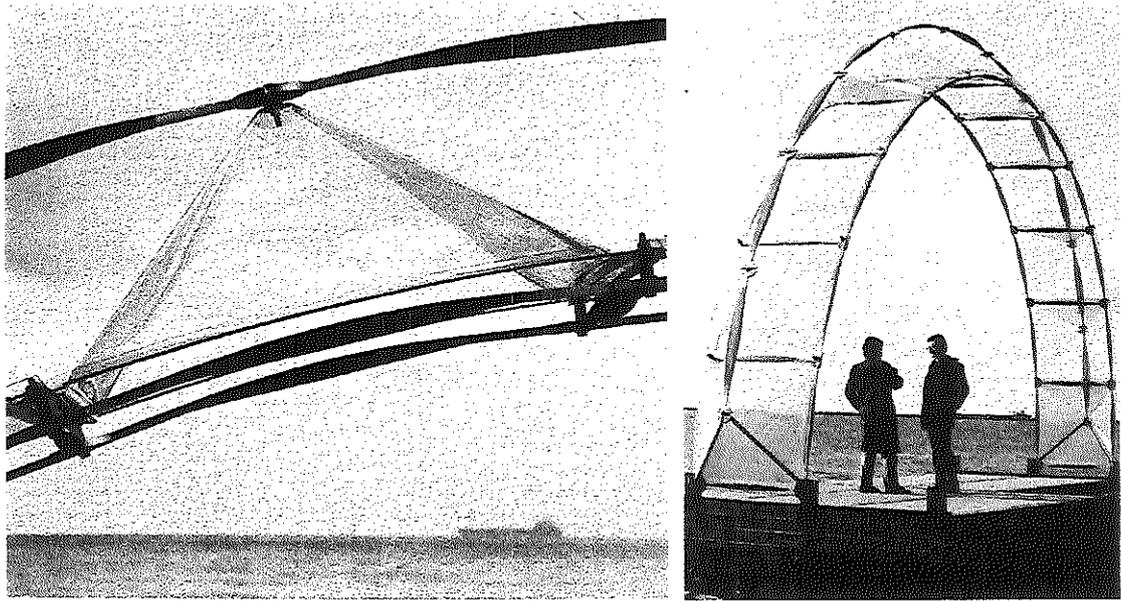


117. Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion – 1982/84. Seção do edifício onde ainda se utilizava o primeiro modelo de conector

T&A 350, nov/83

118. Exterior do edifício, montado com conectores mais delgados

A+U, 3/1989



119, 120. Renzo Piano, IBM Travelling Pavilion – 1982/84: fotografias do protótipo, montado com os conectores circulares.  
T&A 350, nov/83

Sua forma de detalhar o elemento, entretanto, utiliza a todo instante o desenho industrial. Se em algumas obras a individualidade do projeto está patente, em outras tal intenção não é tão clara. As possibilidades de produção em massa são visíveis, ou pelo menos apresenta elementos projetuais presentes nos defensores da industrialização do edifício: reduzido número de componentes, a facilidade e limpeza na montagem, etc.

129

Em geral os sistemas industrializados tratam de um tipo (muito semelhante ao proposto por Bell em 1907) que possuem variações, como já visto, quanto à tecnologia, desenho (patentes). A importância da obra de Piano está, então, na variação do tipo. Busca referências históricas; pesquisa formas e materiais, misturando tradição e vanguarda, o vernacular e a tecnologia mais avançada, contribuindo para o enriquecimento da técnica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

# 6

O panorama montado neste trabalho sobre as estruturas espaciais permite avaliar o andamento de boa parte da arquitetura hoje produzida no Brasil.

Os procedimentos e técnicas apresentados aqui indicam modos de projetar e construir, de vastas possibilidades de expressão tectônica. Entretanto, vê-se a prática reduzida a princípios puramente produtivos, o que faz lembrar novamente Argan, ao enfrentar a crise do projeto que se transformou em determinado momento na elaboração de fluxogramas.

Tal crise se estende ao campo da arquitetura como um todo. O projeto tende a tornar-se um conjunto de especificações de produtos industrializados, esvaziando de conteúdo a arquitetura.

A prática de projeto perde terreno. Talvez esteja se tornando incorreto – ou ao menos cada vez mais raro – falar em **pré-fabricação** na arquitetura. É substituída pela **fabricação**. Um conjunto de produtos destinados à construção São oferecidos no mercado, cabendo, ao arquiteto, especificá-lo. A utilização e determinado produto ou não depende da estratégia de marketing adotada pela empresa produtora. O produto industrializado como se verifica hoje não está preocupado com a qualidade da arquitetura mas em sua própria, onde interferem somente as questões pertinentes à indústria.

Na prática profissional do arquiteto, isso significa uma sensível diminuição do campo de atuação projetual. Abandonou-se a experimentação, tão comum nas décadas de 50 a 70.

O que se pretendeu com este trabalho foi recuperar experiências para uma retomada de um amplo campo ainda por explorar. Não se trata de prolongamento ou sobrevida, mas de um reposicionamento com relação a atividade de projeto, abrindo as possibilidades de desenvolvimento da linguagem da arquitetura por sua tectônica e pelo **design**.

131

O estudo da produção do arquiteto Renzo Piano suscita uma comparação. A Itália, seu país de origem, baseou seu desenvolvimento econômico através de uma estratégia de implementação do design em suas indústrias, tornando-se o grande “produto” de exportação do país. O Brasil é um país rico em minérios e tornou-se um grande exportador de matérias-primas. Isso demonstra um descompasso: há uma lacuna no campo das idéias e um vasto potencial de projeto ainda pouco explorado.

Algumas áreas começam a se movimentar: design de utensílios domésticos, indústria de mobiliário, equipamentos urbanos. Mas permanece ainda em aberto com relação de sua exploração no campo da arquitetura.

Durante as décadas de 70 e 80 algumas experiências utilizaram o concreto e argamassa armada em iniciativas prioritariamente públicas. O aço, em geral, é utilizado com caráter de aceleração de produtividade, não chegando, na maioria dos casos, a representar uma apreensão da linguagem aqui demonstrada e que vem sendo objeto de desenvolvimento, especialmente em países europeus, desde o século XIX.

Como afirma Segawa:

“...o emprego de estruturas metálicas ainda não alcançou o potencial demonstrado nos países desenvolvidos, num nível de elaboração com que muita arquitetura brasileira em aço atual seja apenas pré-miesiana”.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Segawa, H., op. cit.

## BIBLIOGRAFIA

7

### LIVROS

ALEXANDER, C. *Sistemas que são sistemas de sistemas*. SP, FAU, 1972

ARANTES, Otilia. *O lugar da arquitetura depois dos modernos*. São Paulo, Nobel/EdUSP, 1993

ARCHER, L. Bruce. *Systematic methods for designers*. Londres, Council of Industrial Design, 1965

ARGAN, Giulio Carlo. *Arte Moderna*. Tradução Denise Bottman e Federico Carotti. São Paulo, Cia. das Letras, 1993. Título original: *L'arte moderna: dall'illuminismo ai movimenti contemporanei*. Firenze, Sansoni, 1988

ARGAN, Giulio Carlo. *História da arte como história da cidade*. São Paulo, Martins Fontes, 1993. Título original: *Storia dell'arte come storia della città*. Riunitti, 1984

- ARGAN, Giulio Carlo. *Walter Gropius e a Bauhaus*. Lisboa, Editorial Presença, 1984
- ASIMOW, M et al. *Introducción al proyecto*. México DF, Herrero Hermanos, 1965
- BACK, Nelson. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983
- BALLADUR, Jean et alii. *Les visionnaires de l'architecture*. Paris, Robert Laffont Éditeur, 1965
- BANHAM, Reyner. *Teoria e projeto na primeira era da máquina*. São Paulo, Perspectiva, 1979. Título original: *Theory and Design in the First Machine Age*, Londres, Architectural Press, 1960. Trad. A. M. Goldberger Coelho.
- BATTISTI, Emilio. *Arquitectura, ideologia y ciencia*. Madrid, H. Blume, 1980
- BENDER, Richard, *Una visión de la construcción industrializada*. Barcelona, Gili, 1976
- BENEVOLO, L. *O último capítulo da arquitetura moderna*. São Paulo, Martins Fontes, 1985
- BENEVOLO, Leonardo. *História da arquitetura moderna*. São Paulo, Perspectiva, 1994. Título original: *Storia dell'architettura moderna*, Laterza & Figli. Trad. Ana M. Goldberger
- BERDINI, Paolo. *Walter Gropius*. Barcelona, Gili, 1986
- BERGER, Renè. *Arte y comunicación*. Barcelona, Gili, 1976
- BLACHÈRE, Gérard. *Tecnologías de la construcción industrializada*. Barcelona, Gili, 1977. Título original: *Technologies de la construction industrialisée*, Paris, Eyrolles, 1975
- BLANC, Allan et alii. *Architecture and construction in steel*. Londres, E&FN Spon, 1993
- BONSIEPE, Gui & WALKER, R. *Um experimento em projeto de produto/desenho industrial*. Brasília, CNPq, 1983
- BONSIEPE, Gui. *Teoria y práctica del diseño industrial*. Barcelona, Gustavo Gili, 1978
- BONSIEPE, Gui. *A Tecnologia da tecnologia*. Barcelona, Blücher, 1982

- BONSIEPE, Gui. *Diseño industrial, tecnologia y dependencia*. México, Edicol, 1978  
(Desenho Industrial, Tecnologia e Subdesenvolvimento, SP, FAU)
- BONSIEPE, Gui. *Metodologia experimental: desenho industrial*. Brasília, CNPq, 1984
- BONSIEPE, Gui. *Vivissecação do desenho industrial*. São Paulo, FAU, s.d.
- BREUER, Marcel. *Genesis of Design*. In Kepes, Gyorgy, *Man made object*. Nova Iorque, George Braziller, 1966
- BRUNA, Paulo. *Arquitetura, industrialização e desenvolvimento*. São Paulo, Perspectiva, 1983
- CARDELLACH, Félix. *Filosofía de las estructuras*. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1970; primeira edição: 1910
- CEJKA, Jan. *Tendencias de la arquitectura contemporánea*. México, Gili, 1995
- COHEN, Jean-Louis. *Mies van der Rohe*. Paris, Éditions Hazan, 1994
- DANZ, Ernst; MENGES, Axel. *La arquitectura de Skidmore, Owings & Merrill, 1950-73*. Barcelona, GG, 1975
- DORFLES, Gillo. *A arquitetura moderna*. São Paulo, Martins Fontes, s.d.
- DORFLES, Gillo. *O Design industrial e sua estética*. Lisboa, Presença/Martins Fontes
- DORFLES, Gillo. Sociological and semiological aspects of design. In *Design history*, Londres, Design Council, 1979
- DORMER, Peter. *The meanings of modern design*. Londres, Thames & Hudson, 1990
- DREXLER, Arthur. *Transformaciones en la arquitectura moderna*. Barcelona, Gili, 1982
- FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Novo dicionário Aurélio de língua portuguesa*. São Paulo, Nova Fronteira, 1986
- FERRO, Sérgio. *O canteiro e o desenho*. São Paulo, Projeto, 1979

- FRAMPTON, Kenneth. *História crítica da arquitetura moderna*. São Paulo, Martins Fontes, 1997. Título original: *Modern Architecture – a critical view*. Londres, Thame and Hudson, 1992
- FRAMPTON, Kenneth. *Studies in tectonic culture*. Cambridge, MIT Press, 1996
- FRANCASTEL, Pierre. Nota sobre o emprego do termo “Estrutura” em história da arte, in BASTIDE, Roger, *Usos e sentidos do termo estrutura*, São Paulo, EdUSP, 1971
- GAMA, Ruy. *A tecnologia e o trabalho na história*. São Paulo, Nobel/EdUSP, 1987
- GAMA, Ruy. *História da técnica e da tecnologia*. São Paulo, TA Queiroz/EdUSP, 1985
- GRAEFF, Edgar A. *Arte e técnica na formação do arquiteto*. São Paulo, Nobel, 1995.
- GROPIUS, Walter. *Bauhaus: Nova arquitetura*. São Paulo, Perspectiva, 1994. Título original: *Scope of total Architecture*. New York, Harper & Row. Trad. J. Guinsburg e Ingrid Dormien
- GROPIUS, Walter. *The new architecture and the bauhaus*. Londres, Faber and Faber, 1940
- HARVEY, David. *Condição pós-moderna*. São Paulo, Loyola, 1993
- JOEDICKE, Jürgen. *Arquitectura contemporánea: tendencias y evolución*. Barcelona, Gili, 1969
- JOEDICKE, Jürgen. *Pier Luigi Nervi*. Barcelona, Gustavo Gili, 1958
- JONES, J. Christopher. *Design methods: seeds of human futures*. Londres, Wiley-Interscience, 1973
- KOHLMAIER, Georg. *Houses of glass*. Cambridge, MIT Press, 1981
- LANDAU, R. *Nuevos caminos de la arquitectura inglesa*. Barcelona, Editorial Blume, 1969
- LEMOINE, B. *Eiffel*. Barcelona, Stylos, 1986
- LÖBACH, Bernd. *diseño industrial - bases para la configuración de los productos industriales*. Barcelona, Gili, 1981

- MAKOWSKI, Z.S. *Estruturas espaciales de acero*. Barcelona, Gili, s.d.
- MAKOWSKI, Z.S., ed. *Analysis, design and construction of double layer grids*. Londres, Applied Science Publishers, 1981
- MALDONADO, Tomás. *El diseño industrial reconsiderado*. Barcelona, Gili, 1974
- MARGARIT, J. ; BUXADÉ, C. *Las mallas espaciales en arquitectura*. Barcelona, Gili, 1972
- MORA, José Ferrater. *Diccionario de filosofía*. Madri, Alianza Editorial, 1984
- MOTOYAMA, Shozo (org.). *Tecnologia e industrialização no Brasil*. São Paulo, UNESP/CEETEPS, 1994
- MUMFORD, Lewis. *Arte & técnica*. São Paulo, Martins Fontes, s.d. Título original: *Arts and technics*, NY, Columbia University Press, 1952; trad. Fátima Godinho
- NEUFERT, E. *Industrialización de las construcciones*. Barcelona, G. Gilli, s.d.
- OLIVERI, G.M. *Prefabricación - O metaproyeto constructivo*. Barcelona, G. Gilli, sd.
- PEVSNER, Nikolaus. *Os pioneiros do desenho moderno*. São Paulo, Martins Fontes, 1995
- PEVSNER, Nikolaus. *Origens da arquitetura moderna e do design*. São Paulo, Martins Fontes, 1996
- PICARELLI, Marlene (org.). *Desenho industrial na edificação: ensino e pesquisa*. São Paulo, FAU-USP, 1983
- PICARELLI, Marlene. *Habitação: desenho industrial e tecnologia*. Tese de livre docência, São Paulo, FAUUSP, 1982
- ROLAND, Conrad. *Frei Otto: estructuras*. Barcelona, Gustavo Gili, s.d.
- ROSSI, Paolo. *Os filósofos e as máquinas*. São Paulo, Companhia das Letras, 1989. Título original: *I filosofi e le machine: 1400-1700*, Feltrinelli, s.d. Trad. Federico Carotti.
- ROSSO, Teodoro. *Teoria e prática da coordenação modular*. FAU-USP, 1976.
- SIEGEL, Curt. *Formas estructurales en la arquitectura moderna*. México DF, Continental, 1966 (texto original:1960)

- TORROJA, E. *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madri, Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, 1960
- VARGAS, Milton (org.). *História da técnica e da tecnologia no Brasil*. São Paulo, UNESP/CEETEPS, 1994
- VILLALBA, Antonio Castro. *Historia de la construcción arquitectónica*. Barcelona, Edicions UPC, 1996
- WIESER, Wolfgang. *Organismos, estruturas, máquinas*. São Paulo, Cultrix, 1972; título original: *Organismen, strukturen, maschinen*. Frankfurt, Bücherei, 1959; tradução: Amélia Cohn
- WINGLER, H. *La Bauhaus*. Barcelona, Gili, 1962
- ZEVI, Bruno. *Saber ver a arquitetura*, São Paulo, Martins Fontes, 1994. Título original: *Sapre vedere l'architettura*. Tradução: Maria Isabel Gaspar e Gaëtan Martins de Oliveira.

## ARTIGOS

138

- "L'expo IBM". *GA Document*, 11, 1984
- "Renzo Piano, artisan du futur". *Techniques & Architecture*, 350, 11/1983
- "Renzo Piano, Genova". *Casabella*, 474/475, nov/dez 1981
- "Ricerca sulle strutture in lamiera e in poliestere rinforzato". *Domus*, 448, 3/1967
- "Uno studio-laboratorio". *Domus*, 479, 10/69
- ARGAN, G. C. "A História na metodologia do projeto". *Caramelo*, nº 6. Trad. José Eduardo Areias.
- BRUNA, Paulo. "Subsídios para uma política de industrialização da construção no Brasil". *Acrópole*, 380, dezembro 1970
- MAKOWSKI, Z.S. "Structural plastics in Europe". *Arts & architecture*, 8/1966
- MANGIN, D. "Piano de A à W". *L'architecture d'aujourd'hui*, 246, 9/1986
- NIEMEYER, Oscar. "O pré-fabricado e a arquitetura". *Módulo 53*, março-abril 1979
- PANERAI, Philippe. "O retorno à cidade". *Projeto*, abril 1994

- PIANO, Renzo. "Italie recherche de structures". *Techniques & Architecture*, 5, 6/1969
- SANTOS, Maria Cecília dos. "Desenho industrial no Brasil". *Módulo 62*, janeiro fevereiro 1981
- SANTOS, Paulo F. "A arquitetura da sociedade industrial". *Habitat*, nº 20 e 23 a 30, Rio de Janeiro, 1955.
- SCHEICHENBAUER, Mario. "Progettare com le materie plastiche". *Casabella*, 316, 1967
- SEGAWA, Hugo. *Aço na arquitetura brasileira: ainda pré-miesiana?* In Cadernos Brasileiros de Arquitetura, São Paulo, 1991
- VEDIA, Mario Molina y. "O papel do desenho industrial". *Módulo 72*, 1982
- VENTURA, Zuenir. "Por um desenho industrial descolonizado". *Módulo 49*, junho-julho 1978

## **DISSERTAÇÕES E TESES**

139

- CAMARGO, Azael Rangel. *Industrialização da construção no Brasil: elementos teórico-metodológicos para o planejamento da construção do espaço através de inovações tecno-produtivas*. Dissertação, São Carlos, EESC-USP, 1975
- CASTRO, Jorge Azevedo de. *Invento e inovação tecnológica na construção*. Tese, São Paulo, FAU-USP, 1994
- DELLA NOCE, Luiz Gustavo. *Parâmetros para projeto, controle da fabricação e montagem em canteiro de painéis de madeira*. Dissertação, São Carlos, EESC-USP, 1996
- FABRÍCIO, Márcio Minto. *Processos construtivos flexíveis: projeto da produção*. Dissertação, São Carlos, EESC-USP, 1996
- MARTUCCI, Ricardo. *projeto tecnológico para edificações habitacionais: utopia ou desafio?* Tese, São Paulo, FAU-USP, 1990
- REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. *Uma proposta de ensino da concepção estrutural*. Tese, FAU-USP, 1999

SPADONI, Francisco. *Quase contemporâneo: questões para a arquitetura dos anos 60 aos 80: a forma, a figura e a técnica*. Dissertação, São Paulo, FAU-USP, 1997

## **WWW**

<a href="http://www.abcem.com.br">www.abcem.com.br</a>	Associação Brasileira de Construção Metálica
<a href="http://www.alusud.com.br">www.alusud.com.br</a>	Alusud Engenharia e Indústria de Construção Espacial Ltda
<a href="http://www.bemo.com.br">www.bemo.com.br</a>	Bemo do Brasil Sistemas Metálicos Ltda
<a href="http://www.mero.com">www.mero.com</a>	MERO Systeme GmbH & Co
<a href="http://www.merousa.com">www.merousa.com</a>	MERO Structures, Inc