

ARQUITETURA EM AÇO, UMA ABORDAGEM PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS

Pedrosvaldo Caram Santos^()*

1 INTRODUÇÃO

Em 1979 comemoraram-se os duzentos anos da construção da ponte sobre o rio Severn em Coalbrookdale, Inglaterra. Produto da revolução industrial e marco da engenharia e arquitetura, a ponte tornou-se símbolo do desenvolvimento tecnológico, tendo sido tombada como monumento nacional em 1934.

A partir da ponte de Coalbrookdale, a utilização do aço passa a ousar inovações, tornando esse material o elemento construtivo por excelência da revolução industrial e material de uso comum em construções nas sociedades industrializadas.

A revolução industrial trouxe uma nova maneira de ver a construção tendo em vista novas necessidades de espaços, altura das construções, rapidez de execução e qualidade. A mão-de-obra artesanal não atende mais a esses novos requisitos, sendo substituída pela fabricação das peças em usinas. Conceitos de qualidade, precisão e tempo são agregados ao objeto construído; os antigos processos tornam-se obsoletos. A visão global da obra é a base da nova ótica estratégica para os processos de construção.

(*) Engenheiro Arquiteto e Urbanista – UFMG 1972/1973. Eng. Arquiteto – Gerência de Desenvolvimento Aplicação do Aço – Usiminas. Professor Curso de Especialização/Mestrado em Construções Metálicas. UFOP – 1985 /1994. Estágio no Japão na Kajima Corp. Architects and Contractors. Desenhos Leonardo Miranda Mello – Estagiário

Rapidez, precisão, padronização, técnica de fábrica, abandono do artesanato com ruptura do fazer manual para o fazer mecânico geram questionamentos quanto ao fazer arquitetura.

Obras até então artesanais cedem lugar ao processo industrial, no qual o arquiteto prioriza a idéia do padrão e da racionalização como base do processo construtivo. A história da arquitetura tem um elemento que traduz posturas arquitetônicas e estruturais inovadoras.

Paxton, William Le Baron Jenney, Sullivan, Sauvestre, Saulnier, Eiffel, etc ditam o corolário da arquitetura metálica com obras que influenciariam arquitetos em todo o mundo. Experiências como a da primeira escola de Chicago impulsionam o uso do aço em grandes construções.

Posteriormente, na segunda escola de Chicago, verifica-se o privilégio da indústria sobre a obra construída com proposições do tipo miesiano do menos é mais, enfatizando a razão e a máquina junto com os processos industriais como uma das bases para a conceituação do objeto arquitetônico.

Estas inovações firmam principalmente o conceito de obra industrializada, na qual o controle de fábrica sobre o processo construtivo permite maior qualidade arquitetônica ao objeto construído.

É o princípio da dissociação entre a qualidade arquitetônica e a qualidade construtiva.

Qualidade arquitetônica é o resultado da dimensão individual, própria à cultura de cada arquiteto. A qualidade arquitetônica está ligada aos padrões individuais de conforto e estética, e à manipulação e uso dos materiais, não sendo mensurável por processos precisos de avaliação. Quantificar qualidade arquitetônica é praticamente impossível, visto ser resultante de fatores subjetivos. Como afirma HANS HOLLEIN:

"Arquitetura é simultaneamente memória, símbolo, forma e expressão. Arquitetura é um meio de equilíbrio da temperatura do corpo, uma espécie de membrana protetora. Arquitetura é determinação e organização do espaço, do ambiente. Arquitetura é um elemento condicionador de estados psicológicos."

SULLIVAN disse: "O arquiteto é um poeta que usa materiais em vez de palavras". Wright acreditava que "os materiais eram presentes da natureza para serem explorados pela sensibilidade humana, que porventura era também um presente da natureza."

Qualidade construtiva, por outro lado, é resultante do processo de execução, podendo ser avaliada e quantificada numericamente.

"A qualidade da obra construída exige a presença de dois componentes da arquitetura: seus elementos específicos, (espaço, estrutura, forma, luz) que asseguram à obra a presença e fatores externos (políticos, econômicos, sociais, funcionais, contextuais) que fornecem pertinência, critérios indispensáveis para a apropriação coletiva do edifício" (HENRI CIRIANI).

A industrialização permite obras muitas vezes com qualidade construtiva adequada, mas nem sempre de qualidade arquitetônica significativa. O grande desafio para os arquitetos é conseguir conciliar o sistema subjetivo e individual da qualidade arquitetônica com a precisão construtiva rigorosa, normatizada dos processos industriais.

O novo sistema apresenta intrinsecamente qualidade construtiva, tendo em vista a precisão do processo de fábrica na execução da obra. Coloca-se de pronto para os arquitetos o problema da troca do trabalho artesanal, individual, pelo trabalho técnico da equipe multidisciplinar, onde são divididas e repartidas responsabilidades em busca da qualidade total.

O processo industrial implica rapidez de soluções, quer em nível de projetos, quer em nível de construção.

Passamos do processo de domínio arquitetônico das decisões construtivas para o processo participativo do arquiteto em conjunto com a equipe, definindo características formais e construtivas, com o intuito de, ao viabilizar a obra, melhorar seu resultado final.

Para que isto seja possível, os arquitetos têm que entender os caminhos da ação projetual no sistema aço. Essa ação tem características universais, pois atua sobre um mercado globalizado de produção. Temos que entender que a revolução industrial trouxe para o cotidiano a máquina

como elemento de produção, interferindo com soluções e a prática do dia-a-dia. Temos que vivenciar a idéia que:

"O novo mundo já não é este lado do Atlântico, nem tampouco o outro lado do Pacífico. O novo mundo já não está à esquerda nem à direita, mas em cima de nós, precisamos elevar o espírito para alcançá-lo, pois já não é uma questão de espaço, porém de tempo, de evolução e de maturidade. O novo mundo é agora a nova era e cabe à inteligência retomar seu comando" (LÚCIO COSTA).

2 OBRA

Entender o aço como elemento de construção significa entender uma obra racionalizada, uma obra para a qual a fábrica vai produzir peças que foram otimizadas no projeto de arquitetura e que serão, depois de transportadas, montadas no canteiro de obras.

Em países industrializados utiliza-se a coordenação modular de modo a facilitar o processo construtivo, reduzindo perdas e custos com maior qualidade final. A coordenação modular permite a integração de todos os componentes da construção dentro de padrões de medidas que facilitam e simplificam ligações e detalhes na montagem do edifício. É um conceito de indústria em função da melhor arquitetura.

"A idéia é estender o conceito de linha de montagem para toda a indústria de construção, das fábricas de componentes aos canteiros de obras (...)" (BULGARINI, 1995:5).

O edifício metálico é um edifício feito em fábrica e montado no canteiro, ao contrário das construções convencionais que são produzidas no local da obra.

3 QUALIDADE

Construções industrializadas significam construções em que o controle de qualidade tem início no projeto e prossegue em fábrica, para depois ser confirmado no canteiro de obras.

Essa diferença faz com que a obra industrializada tenha alta qualidade construtiva final, pois o controle tecnológico da edificação é desenvolvido em fábrica, permitindo precisão milimétrica, pequena margem de erro, grande margem de acertos, com redução significativa de perdas.

Para atingir-se essa qualidade, temos que compatibilizar a dimensão cultural do arquiteto com o dimensionamento de precisão do sistema industrializado, por meio de técnicas específicas.

O processo arquitetura e construção metálicas pede, além de trabalho em equipe, um desenvolvimento sequencial de etapas para a viabilização da obra.

Cada etapa do trabalho tem suas características definidas e clarificadas, permitindo-se atingir níveis de competitividade com os processos convencionais, obtendo, porém, qualidade superior.

Cada etapa é estudada e analisada do ponto de vista da equipe do projeto, trabalhando na eliminação de interferências que, se não solucionadas em projeto, podem comprometer o custo e a performance da construção.

São pontos a serem considerados para a execução de uma obra: projeto, detalhamento, fabricação, pré-montagem, transporte, montagem.

4 PROJETO

O projeto de uma obra em construção metálica tem importância fundamental para o seu sucesso e conseqüentemente deverá ser desenvolvido de modo a atender aos requisitos de qualidade e custo necessários ao bom resultado da obra.

Os sistemas industrializados de construção trouxeram para o âmbito do projeto e da obra a importância do trabalho em equipe e o conceito de tempo de projeto e tempo de obra, fazendo com que o projeto seja tão importante quanto a obra.

Projeto em aço significa projeto em equipe.

Uma equipe de projetos deve trabalhar de maneira integrada, de modo a eliminar possíveis interferências entre instalações e arquitetura, interferências que podem, se não solucionadas, comprometer o custo e a qualidade da construção.

A equipe deve entender os sistemas de fabricação, transporte e montagem, facilitando o processo construtivo como um todo, permitindo que se consigam bons resultados finais com relação a preço e qualidade. Procura-se, no trabalho de equipe, explorar as vantagens inerentes ao processo de construção metálica, que são: alta eficiência construtiva, alívio nas fundações, canteiro de obras limpo e reduzido, redução do tempo de construção, maior espaço útil, grande flexibilidade construtiva e facilidades nas mudanças de instalações.

O tempo de projeto é fator dos mais importantes para viabilizar a obra. Um projeto bem solucionado reduz sensivelmente o tempo de execução da edificação.

No projeto estabelecem-se com clareza: a modulação, o sistema de estabilização, as dimensões arquitetônicas das peças, as ligações, os tipos de lajes, fechamentos e acabamentos. São determinadas também a qualidade do aço a ser empregado e a eliminação de interferências entre arquitetura, cálculo e projetos de instalações.

Verificado cada item exposto acima, a equipe de projeto tem garantia da perfeita execução das propostas trabalhadas, assumindo, por especialidade, com segurança, cada ponto dessa execução.

4.1 Modulação

Inicia-se o projeto pela modulação a ser adotada. O grid modular é definido em malhas reticulares tridimensionais com dimensões básicas de 600mm de lado. O módulo de 600mm permite grande subdivisão de peças em função das dimensões padrão das chapas, com possibilidades praticamente ilimitadas de variação do desenho arquitetônico. (Ver figura 1).

“O grande módulo de 600mm é muito apropriado para servir de base para um reticulado de projeto, pois é destacadamente base de um sistema de dimensões de elementos que podem ser construídos industrialmente, tendo em vista que contém um número exato de vezes os números primos 2, 3 e 5, sendo o módulo equivalente a $600 = 23 \times 3 \times 52$, tendo portanto um grande número de divisores que não dão lugar a frações decimais de milímetro”. (SONTAG, 1976:191).

As malhas reticulares mais comuns são as quadradas, triangulares e hexagonais. Outros tipos de malhas podem ser adotados, sendo que preferencialmente deverão manter a razão 600mm em suas dimensões. É comum o trabalho com a malha principal e sua correspondente dual, fazendo com que o projeto de arquitetura tenha muitas possibilidades de variação de formas e volumes dentro do sistema de controle industrial. (Ver figura 2 – malhas).

O objetivo das malhas reticulares é proporcionar ao arquiteto possibilidades de um desenho variado dentro do processo de fábrica, conduzindo a menor perda de insumos na utilização de materiais, otimizando custos de fabricação.

O controle das perdas através do uso das malhas reticulares permite racionalização da fabricação. Deve-se entender, contudo, que pequenas perdas sempre existirão. As malhas contribuem para mantê-las em limites admissíveis.

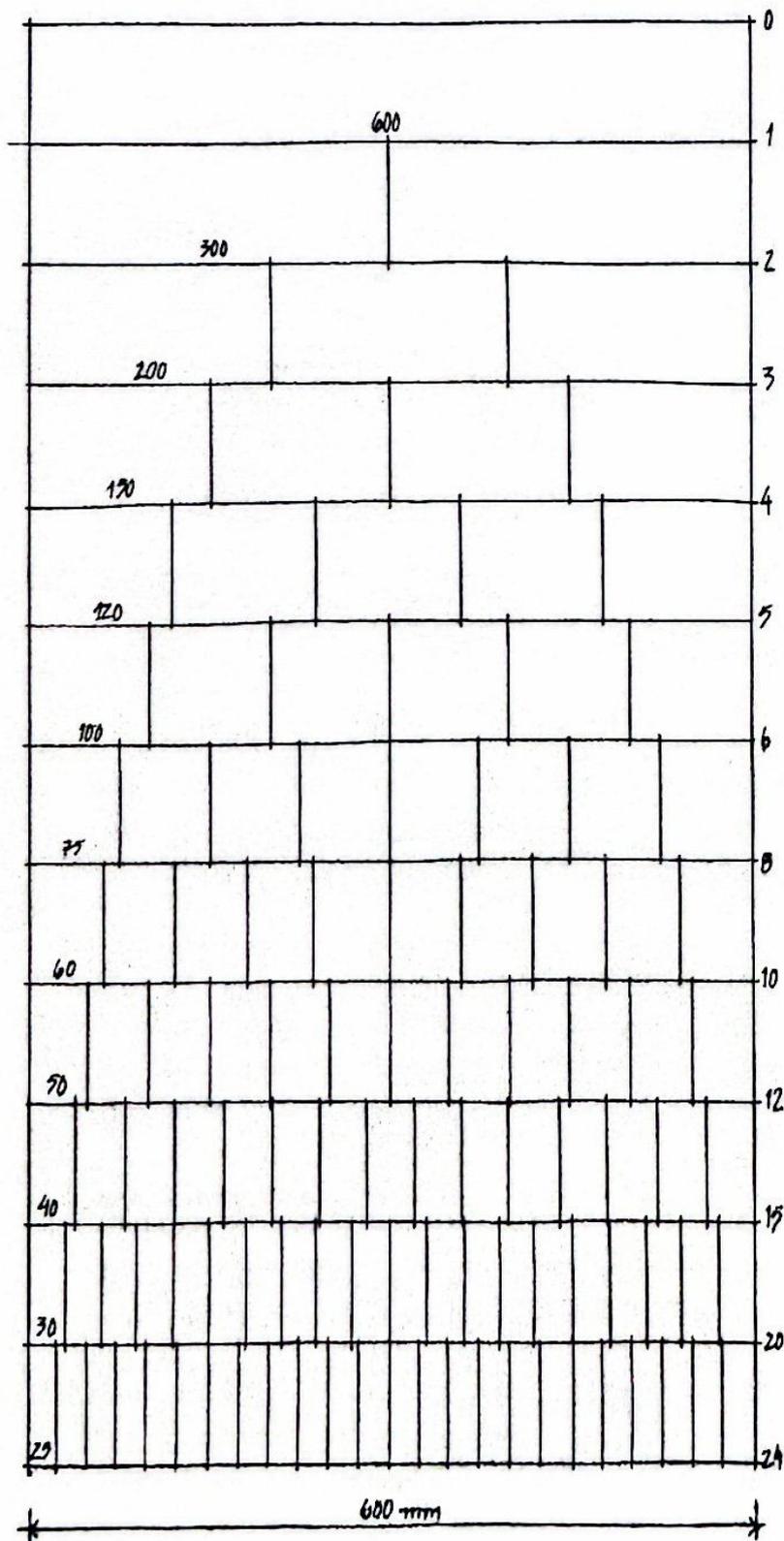
“A viabilidade do uso do sistema de modulação pode ser avaliada pelo construtor quando analisados seus benefícios potenciais. Redução de custos, redução do tempo de obra, redução do impacto ambiental e social, melhoria das relações trabalhistas, redução dos riscos do projeto, melhoria do controle de qualidade”. (MEHMET TAN, 1995:16).

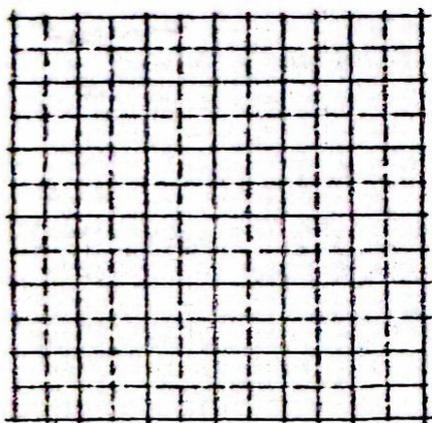
Para o arquiteto, as malhas reticulares são referências podendo ser abandonadas em parte ou no todo, em casos específicos, quando não atenderem plenamente aos requisitos dimensionais da arquitetura.

Dentre os requisitos de arquitetura, podemos citar, além das dimensões arquitetônicas das peças, a escolha de aços adequados ao bom desempenho da obra. Existem em linhas de fabricação diversos tipos de aços. Ao projetar uma estrutura, o arquiteto deve fazer a opção pelos aços

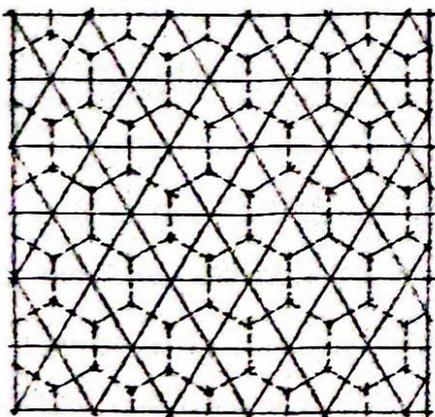
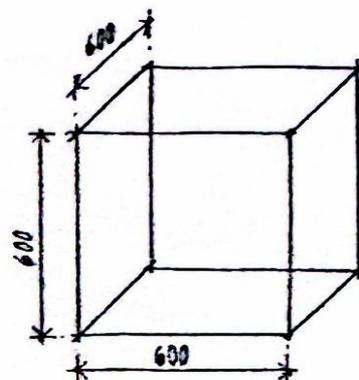
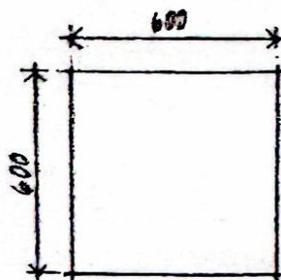
DIVISÃO MODULAR

600 - 2³ x 3 x 5²

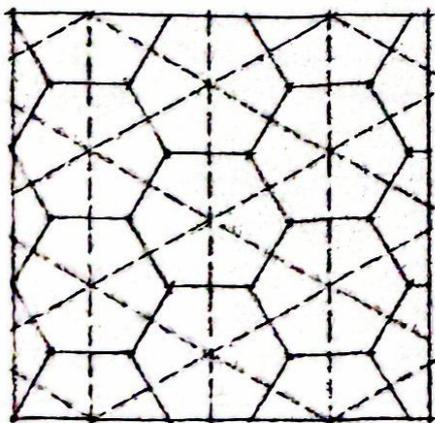
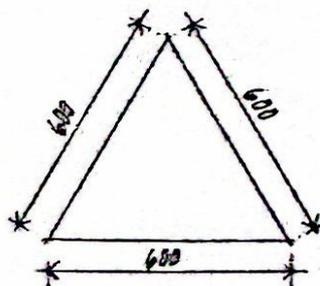




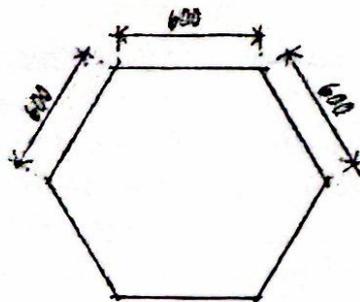
malha quadrada (malha de 10)



malha triangular (malha de 10)



malha hexagonal (malha de 10)



adequados para arquitetura. Essa definição dos aços adequados deve ser claramente identificada desde a fase do estudo preliminar, pois implica qualidade final.

Os aços estruturais de baixa liga, denominados aços patináveis ou aços aclimáveis, são indicados para a construção civil arquitetônica, tendo em vista características como: alto desempenho à corrosão atmosférica, alta soldabilidade, facilidades de corte e dobra, boa aderência às pinturas e baixa manutenção. Tais características dos aços patináveis fazem com que sejam indicados e usados para arquitetura com grandes vantagens sobre aços convencionais.

Os aços patináveis comuns no mercado brasileiro são: USI-SAC-41 da USIMINAS, COS-AR-COR-400 da COSIPA e NIO-COR da CSN. Internacionalmente, o COR-TEN da USX é bem conhecido e empregado existindo também aços patináveis na França, Canadá, Japão e outros países industrializados.

A alta resistência à corrosão atmosférica permite que se utilizem peças sem pintura, explorando arquitetonicamente as características do material e baixando custos de construção e manutenção.

Quando aplicados aparentes, sem pintura, esses aços desenvolvem uma camada de proteção superficial, formada por óxidos e de aparência compacta e aderente. Boa aderência às pinturas possibilita custos mais baixos de tratamentos superficiais, da limpeza à aplicação, e redução dos custos de manutenção.

Estabilização – Trabalhando o programa arquitetônico no sistema modular, estudam-se também os sistemas de estabilização da estrutura.

As estruturas de aço normalmente são mais leves e esbeltas que as estruturas convencionais. Por apresentarem pequena inércia, essas estruturas estão sujeitas aos efeitos de vento. Combater o efeito de vento em uma obra metálica leva o arquiteto a optar por soluções que podem valorizar o objeto construído. O princípio de estabilização é que os nós devem manter o conjunto estrutural estável, considerando cargas e forças atuantes sobre a estrutura. Esse princípio conduz o arquiteto, em

conjunto com o calculista, a trabalhar o modelo de rigidez arquitetônico estrutural específico. Estudam-se e discutem-se os efeitos dos ventos e cargas atuantes em todo o volume da edificação, fazendo-se a escolha do modelo mais adequado para resistir a esses esforços na estrutura. O raciocínio para essa análise é espacial, sob a ótica de todos os ângulos do objeto a ser construído.

Nas estruturas convencionais trabalha-se, de uma maneira geral, com nós rígidos. Nas estruturas metálicas, esses nós são especificados pelo modelo de rigidez.

Os sistemas de rigidez usuais são: pórticos, contraventamentos, núcleos centrais e estruturas tubulares. Todos eles são determinantes do desenho final da edificação, devendo ser criteriosamente estudados, evitando-se interferências com a proposta arquitetônica, procurando-se um peso adequado para o edifício como um todo.

A verificação dessas certezas é possível tendo em vista que os desenhos de projeto e fabricação são cotados pelos eixos determinados a partir das malhas reticulares, facilitando o entendimento e a execução do projeto e da obra.

A determinação do tipo de nós estruturais condiciona elementos estruturais que serão aplicados no conceito geral de peso, fabricação e montagem.

Pilares, vigas, lajes, ligações, caixas de escadas, torres de elevadores, arrimos, aberturas e fechamentos são importantes na definição da estabilidade, ajudando a variar taxas de consumo de aço na obra, sendo definidos nessa fase.

Tais pontos, estudados e analisados, permitem atingir os objetivos pretendidos.

Os edifícios metálicos são vendidos em peso e o modelo de rigidez tem grande influência na definição desse peso. De uma maneira geral, teórica, poderíamos afirmar que quanto mais leve, mais econômica é a estrutura. Cabe ao arquiteto definir esse modelo, valorizando o objeto a

ser construído, conseguindo obter custos compatíveis para a obra. (Ver Figura 3 - Federação do Comércio - NEEc).

4.2 Detalhamento

A idéia de qualidade vem fazendo com que os profissionais de construção procurem otimizar ganhos em função dos insumos envolvidos em uma obra. Insumos são considerados não só os materiais de construção, como também o homem-hora e mão-de-obra de execução e, principalmente, a mão-de-obra de projeto. É a mão de obra do projeto que otimiza os insumos utilizados na construção como um todo, pois nos projetos que utilizam sistemas industrializados, o controle de custos e qualidade construtiva está expresso nos desenhos que determinam, de uma maneira precisa, volumes de materiais e tolerâncias em milímetros.

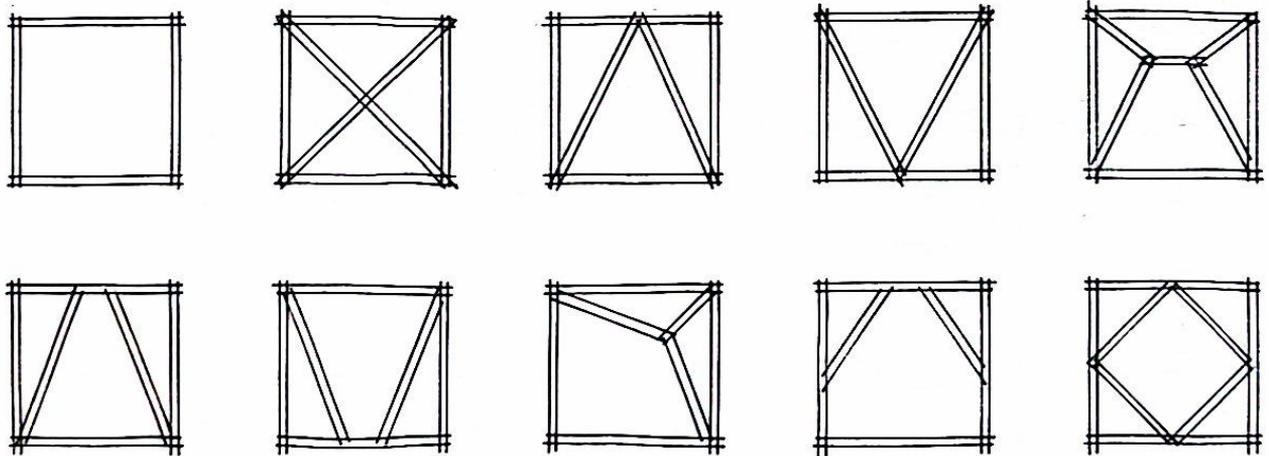
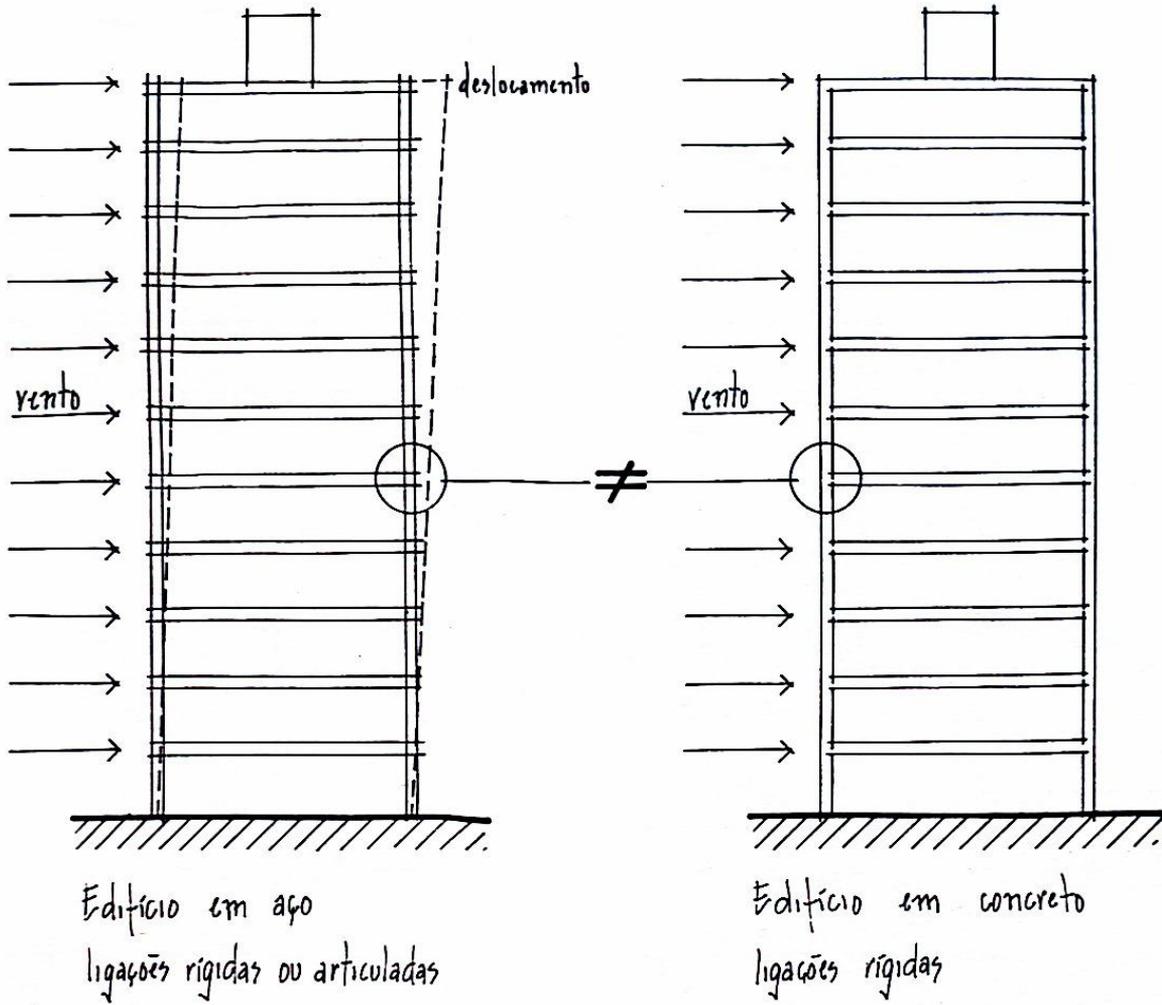
Esse trabalho é feito como detalhamento das propostas de projeto.

Adota-se, por convenção internacional, o sistema SI de medidas como base para o desenvolvimento de projetos em estruturas metálicas. As medidas são dadas em milímetros.

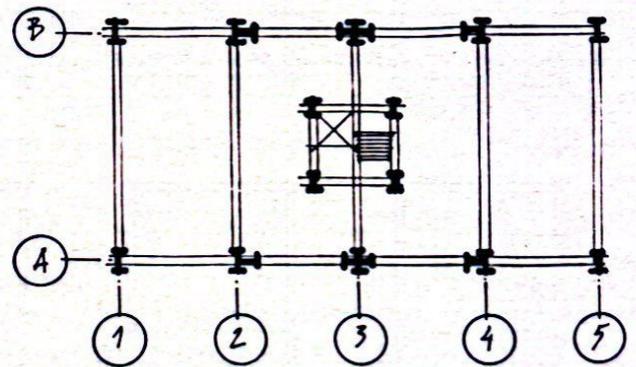
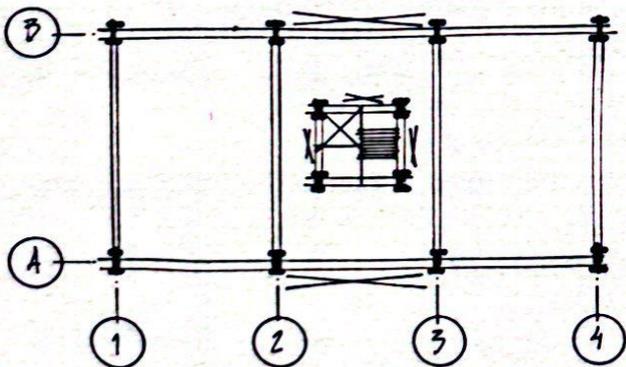
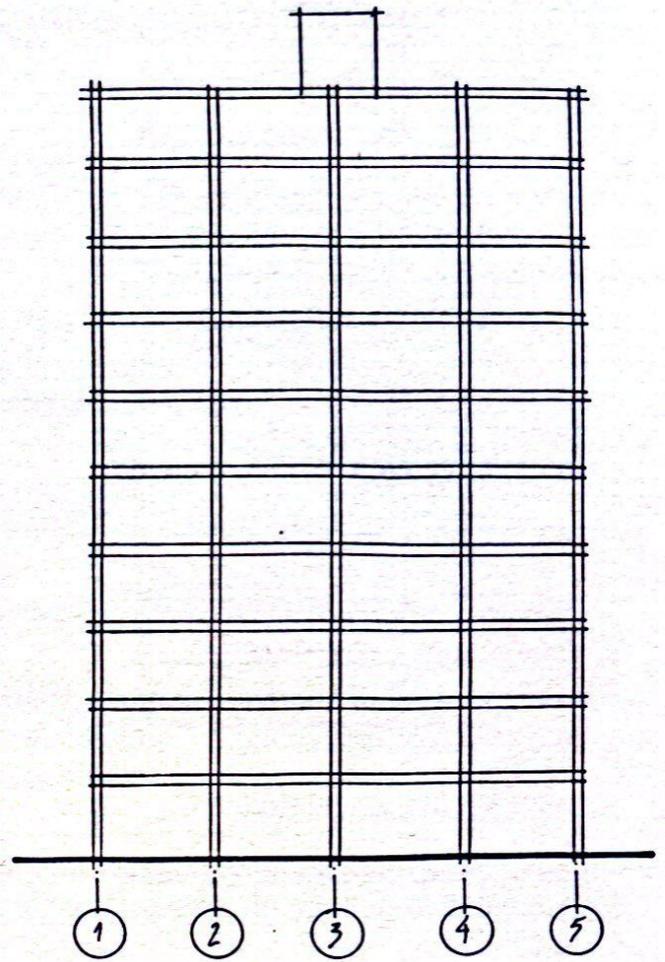
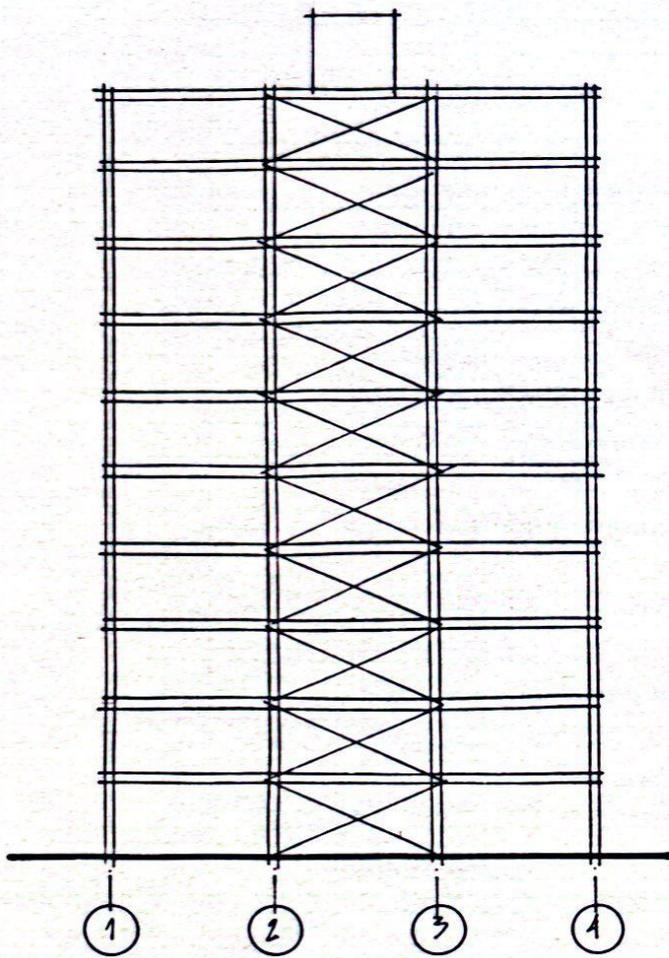
No detalhamento, trabalham-se as interferências, definem-se medidas arquitetônicas das peças, ligações e sistemas de transporte e montagem.

Detalham-se todas as ligações aço-aço e aço outros materiais. Especificam-se todos os materiais a serem utilizados e quantificam-se os volumes de insumos para vedações e acabamentos, conseguindo-se precisos dados para otimização de recursos a serem empregados. Verificam-se e fazem-se checagens de todos os pontos passíveis de apresentar problemas durante a execução e montagem por meio de cronogramas dessas atividades.

Um importante procedimento no detalhamento é a definição das dimensões arquitetônicas das peças. O dimensionamento arquitetônico faz com que características culturais próprias a cada arquiteto possam ser mantidas com as proporções intentadas. Para executar esse dimensionamento, o arquiteto e o calculista trabalham em conjunto, de modo a proporcionar arquitetonicamente a estabilização dos elementos es-

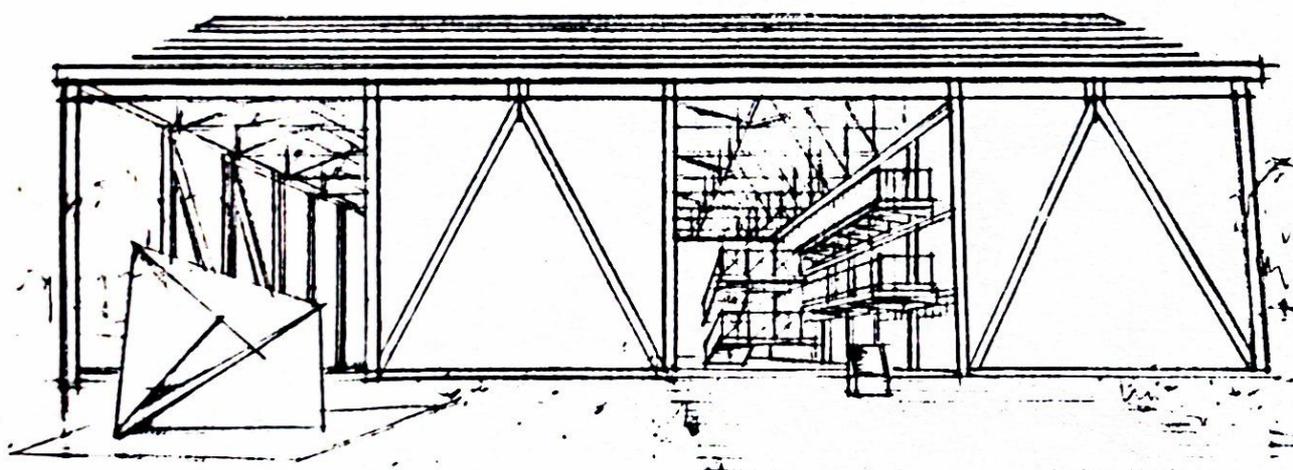


Estabilização de quadros em edifícios metálicos



204 sistema de estabilidade por núcleo central

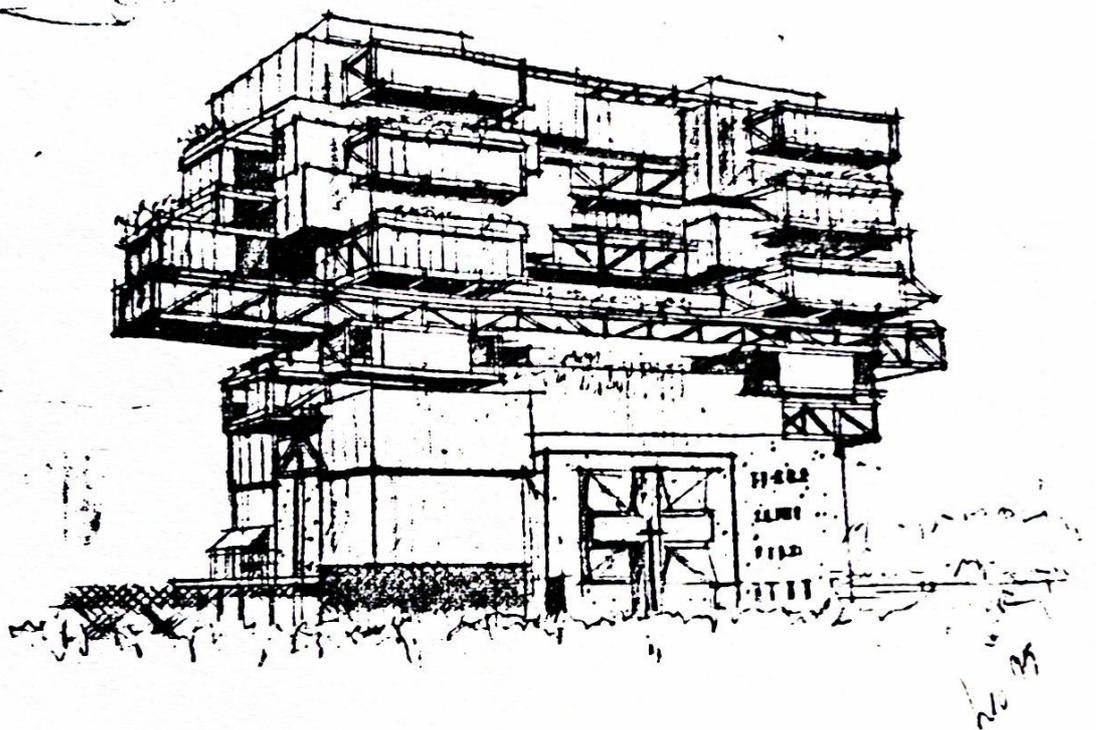
sistema de estabilidade por pórticos



no 99

ESCOLA ESTADUAL BH/MG

Arqº Gustavo Pena



FEDERAÇÃO DO COMÉRCIO / SALVADOR / BA

Arqts. Otton Gomes / Fernando Frank

truturais. Cabe ao arquiteto determinar o tipo de desenho, altura e largura dos perfis, trabalhando o calculista com as espessuras, que vão resistir aos esforços atuantes sobre o conjunto.

Uma referência importante fornecida pelo projeto detalhado são as cotas de eixo a eixo da estrutura. Os eixos estruturais são determinados na modulação arquitetônica e permitem melhor visualização das soluções de projeto.

O detalhamento engloba a visão geral da proposta de execução, apresentando grande número de informações técnicas que fazem com que, a partir da liberação dos desenhos, a obra possa ser integralmente orçada e viabilizada.

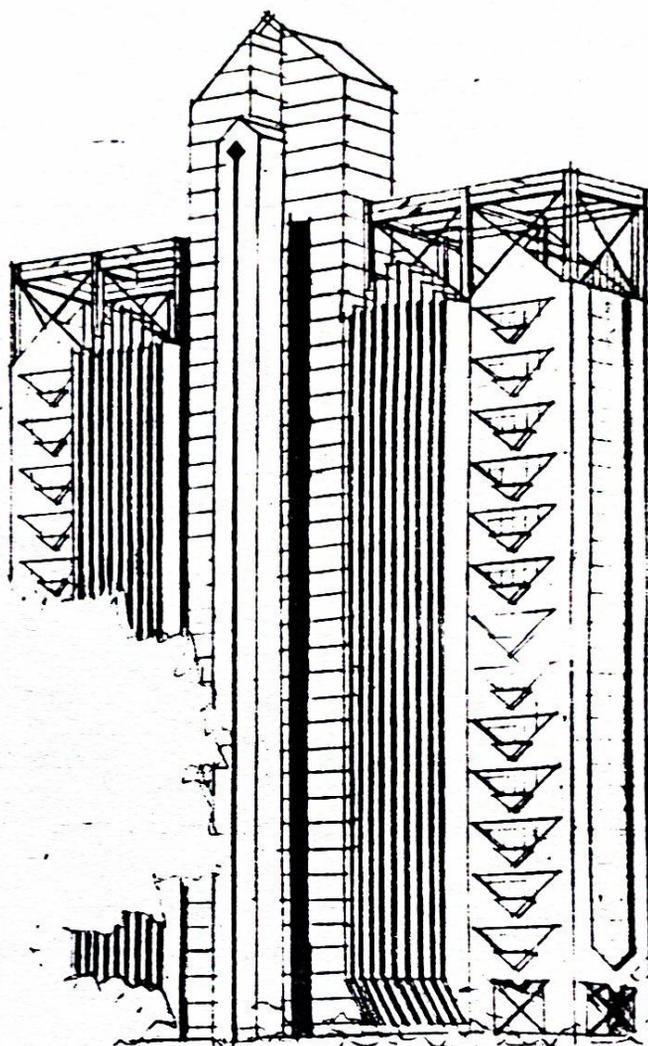
4.3 Peças metálicas

A execução de uma obra em aço pode utilizar peças soldadas, conformadas, dobradas ou laminadas.

De uma maneira geral, poderíamos dizer que os perfis soldados são utilizados quando as estruturas tem mais de dois pavimentos ou as cargas a ser observadas são significativas. Perfis soldados são peças produzidas a partir das chapas de aço, oriundas de usinas, tendo forma e dimensões definidas em conjunto pelo arquiteto, o calculista e baseado nos princípios de estabilidade e nos equipamentos de fabricação. Os perfis soldados convencionais são formados por duas partes conhecidas como mesas, abas ou flanges, interligados por meio de solda pela alma. A forma mais comum dos perfis soldados é a de I, H, com mesas paralelas, existindo também o perfil tubular ou de secção circular em forma de O.

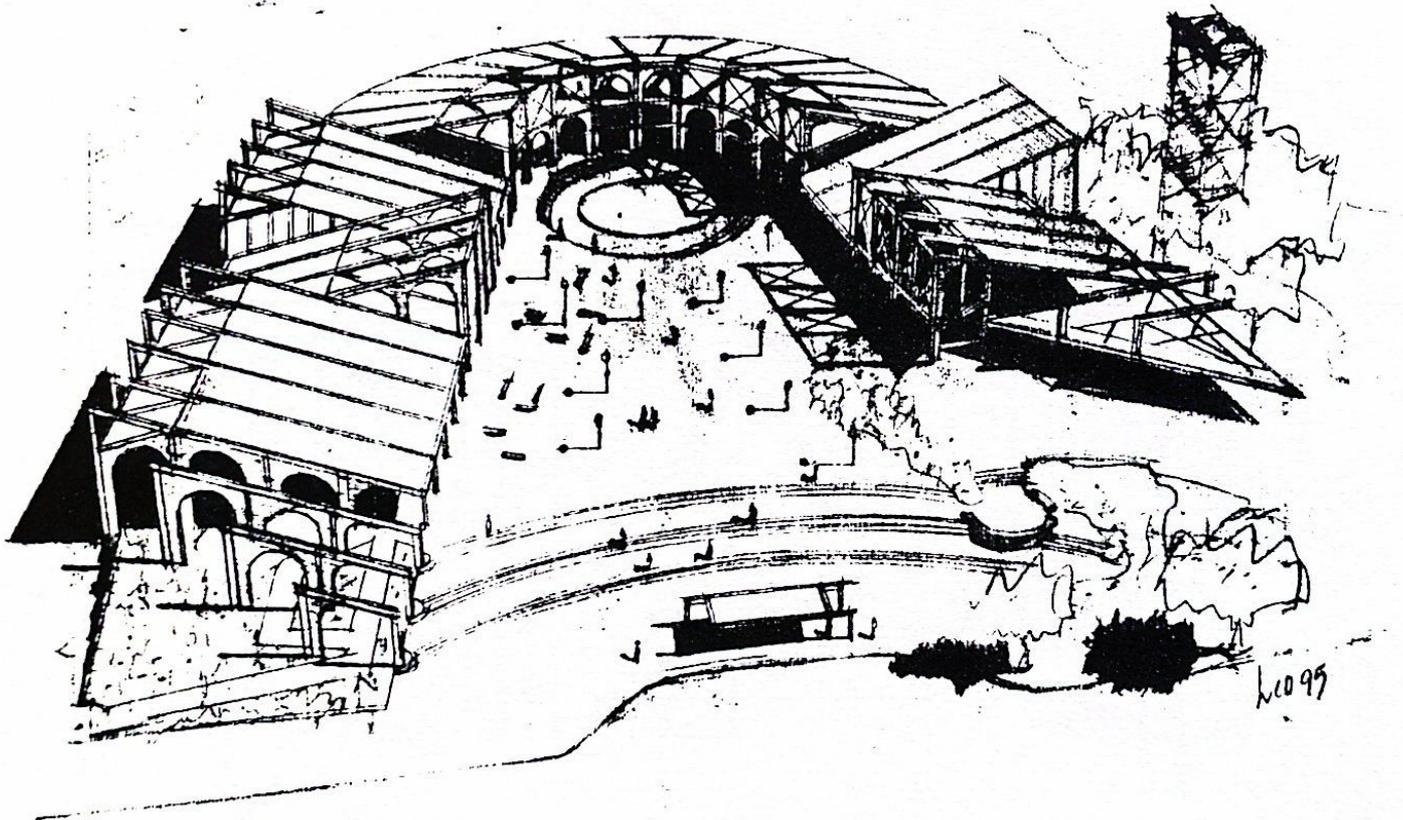
Os perfis conformados tem normalmente secção em forma de I, U, T, C, Z, sendo na maioria das vezes utilizados como elementos estruturais para edificações de pequeno porte e peças complementares da construção.

Contraventamentos, terças de telhados, montantes e diagonais de treliças são elementos usuais em perfis conformados ou dobrados. Estruturalmente, em pequenas edificações esses perfis podem ser combina-

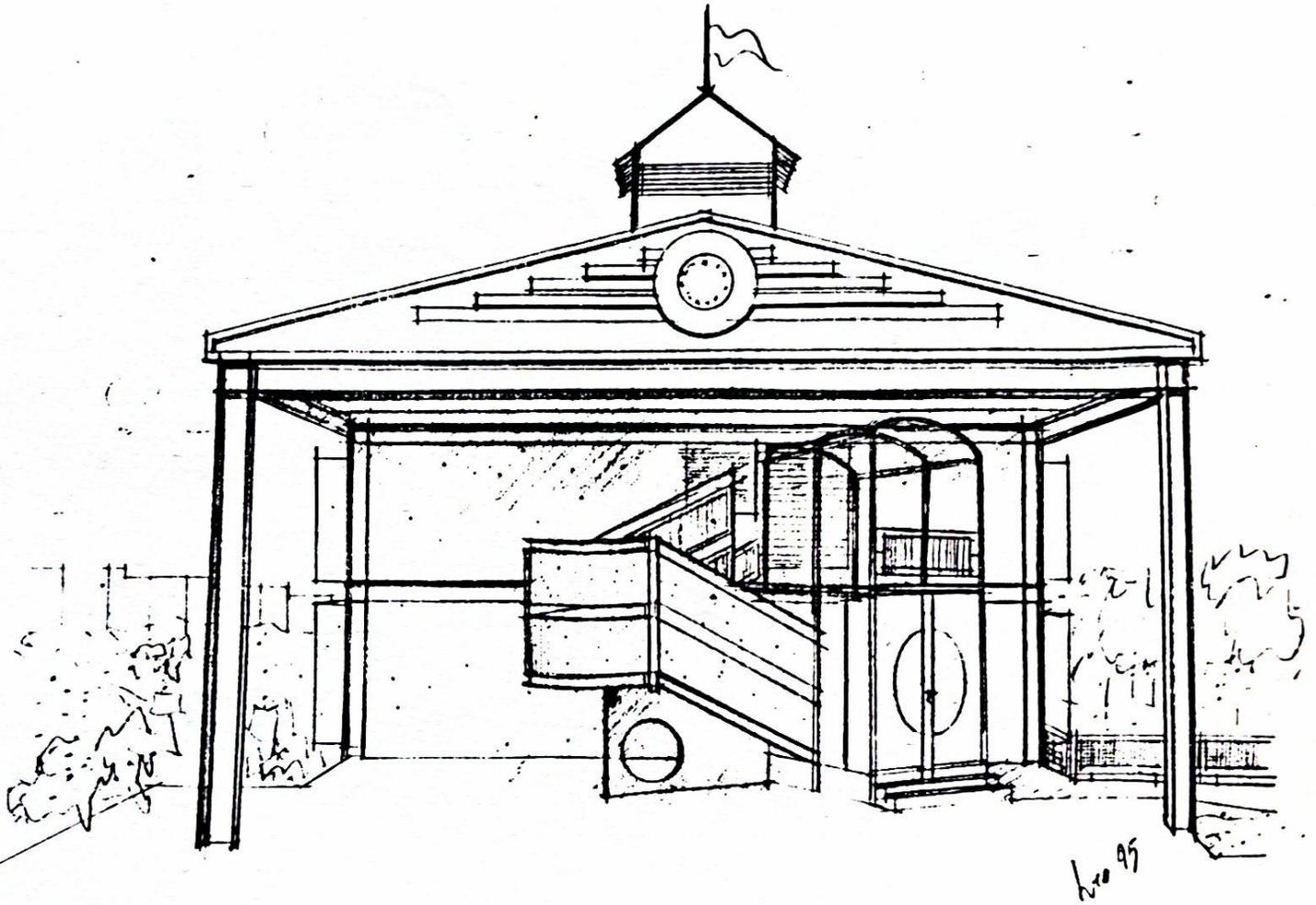


EDIFÍCIO CAPRI BH/MG.

Arqto João Piniz e equipe

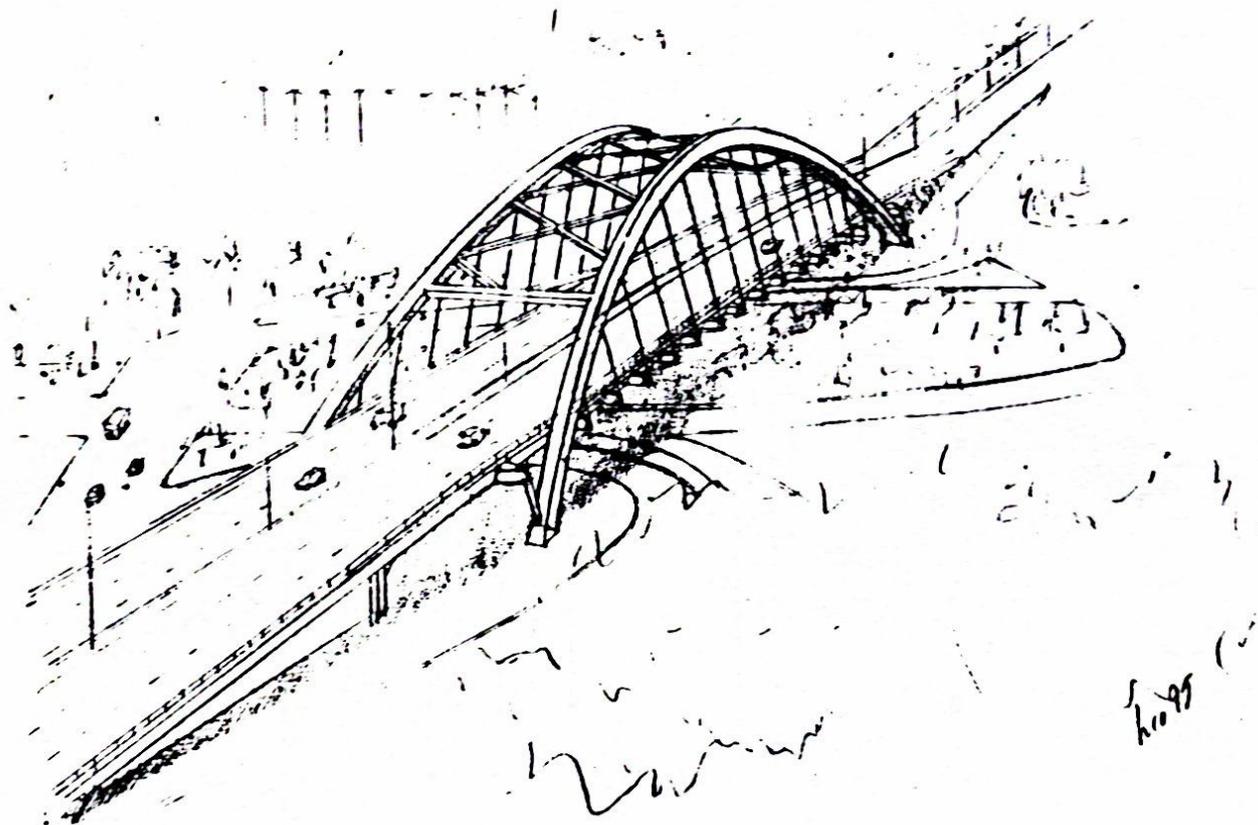


UFMG / CENTRO CULTURAL / B.H. / MG.
Arquitos: Antônio Brasil e equipe



GRUPO ESCOLAR / TIMÓTEO / MG.

Arquit. Edo Maria / Silvio Padesto / M. J. Vazconcellos



VIADUTO DE OSASCO / S.P.
Projeto R.M.6 engenheiros.