

VISITA AO MASP

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP, 2023

MUSEU DE ARTE DE SÃO PAULO
Lina Bo Bardi

Um recanto de memória? Um túmulo para múmias ilustres? Um depósito ou um arquivo de obras humanas que, feitas pelos homens para os homens, já são obsoletas e devem ser administradas com um sentido de piedade? Nada disso. Os museus novos devem abrir suas portas, deixar entrar o ar puro, a luz nova. Entre passado e presente não há solução de continuidade. É necessário entrosar a vida moderna, infelizmente melancólica e distraída por toda espécie de pesadelos, na grande e nobre corrente da arte.

É neste novo sentido social que se constituiu o Museu de Arte de São Paulo, que se dirige especificamente à massa não informada, nem intelectual, nem preparada.

O fim do Museu é o de formar uma atmosfera, uma conduta apta a criar no visitante a forma mental adaptada à compreensão da obra de arte, e nesse sentido não se faz distinção entre uma obra de arte antiga e uma obra de arte moderna. No mesmo objetivo a obra de arte não é localizada segundo um critério cronológico mas apresentada quase propositadamente no sentido de produzir um choque que desperte reações de curiosidade e de investigação.

O famoso vão do MASP não foi uma excentricidade, o que em linguagem popular se poderia chamar uma 'frescura arquitetônica'. É que aquele terreno, onde estava o antigo Belvedere do Trianon, foi doado por uma família de São Paulo que impôs como condição a manutenção daquela vista, que deveria ficar para sempre na história da cidade.

Não poderia nunca ser destruída pois, nesse caso, o terreno voltaria aos herdeiros.

O critério que informou a arquitetura interna do Museu restringiu-se às soluções de "flexibilidade", à possibilidade de transformação do ambiente, unida à estrita economia que é própria de nosso tempo.

Procurei uma arquitetura simples, uma arquitetura que pudesse comunicar de imediato aquilo que, no passado, se chamou de "monumental", isto é, o sentido de "coletivo", da "Dignidade Cívica". Aproveitei ao máximo a experiência de cinco anos passados no Nordeste, a lição da experiência popular, não como romantismo folclórico mas como experiência de simplificação. Através de uma experiência popular cheguei àquilo que poderia chamar de Arquitetura Pobre. Insisto, não do ponto de vista ético. Acho que no Museu de Arte de São Paulo eliminei o esnobismo cultural tão querido pelos intelectuais (e os arquitetos de hoje), optando pelas soluções diretas, despidas. O concreto como sai das formas, o não acabamento, podem chocar toda uma categoria de pessoas. O auditório propõe um teatro despido, quase a "granja" preconizada por Antonin Artaud.

SÃO PAULO ART MUSEUM
Lina Bo Bardi

A corner of one's memory? A tomb for illustrious mummies? A storehouse or an archive of human works which, made by man, are already obsolete and must be handled with a sense of pity? Not at all. The new museums should open their doors, and let pure air and new light in. Between the past and the present there is no solution of continuity. It is necessary to adapt modern life, unfortunately melancholic and distracted by so many nightmares, to the great and noble current of art.

It is in this new social sense that the São Paulo Art Museum was conceived directed specifically at uninformed unintellectual, unprepared masses.

The purpose of a Museum is to provide an atmosphere, a conduct likely to create in the visitor a mentality prepared for understanding the work of art, and in this sense no distinction is made between an old or a modern work of art. With the same objective the work of art is not located following a chronological criterion but it is presented almost deliberately so as to produce a shock, to awaken reactions of curiosity and investigation.

The MASP, with his famous empty space, is not an eccentricity to astonish people, for them to say: "Wow, what a huge thing!" It's not what in popular language would be an architectural extravagance. That land was donated by and old São Paulo family, who also bequeathed the "Belvedere" of Trianon, which was supposed to remain forever in the history of the city and could never be destroyed, for in this case, the land was supposed to go back to the owners.

The criteria governing the internal architecture of the Museum were restricted to solutions of "flexibility", to the possibility of transforming the ambience, together with strict economy that is in keeping with our times.

I was looking for simple architecture, one that could immediately communicate that which in the past was known as "monumental", that is, in the sense of the "collective", of "Civic Dignity". I made the most of my experience of five years in the Northeast of Brazil, a lesson of popular experience, not as folkloric romanticism but as an experiment in simplification. By means of a popular experiment I arrived at which might be called Poor Architecture. I insist, not from the ethical point of view. I feel that in São Paulo Art Museum I eliminated all the cultural snobbery so dearly beloved by the intellectuals (and today's architects), opting for direct, raw solutions. Concrete as it comes from the forms, the lack of finishing, may shock a whole group of people. The simpler solutions were the ones selected. Such as for example in the auditorium, which will propose a bare theater, almost the "farmyard" professed by Antonin Artaud.

Abandonaram-se os requintes evocativos e os contornos, e as obras de arte antiga não se acham expostas sobre veludo, como o aconselham ainda hoje muitos especialistas em museologia, ou sobre tecidos da época, mas colocadas corajosamente sobre fundo neutro. Assim também, as obras modernas, em uma standardização, foram situadas de tal maneira que não colocam em relevo a elas, antes que o observador lhes ponha a vista. Não dizem, portanto, "deves admirar, é Rembrandt" mas deixam ao espectador a observação pura e desprevenida, guiada apenas pela legenda, descritiva de um ponto de vista que elimina a exaltação para ser criticamente rigorosa. Também as molduras foram eliminadas (quando não eram autênticas da época) e substituídas por um filete neutro. Desta maneira as obras de arte antigas acabaram por se localizar numa nova vida, ao lado das modernas, no sentido de virem a fazer parte na vida de hoje, o quanto possível.

O Novo Trianon-Museu é constituído por um embasamento (do lado da Av. Nove de Julho) cuja cobertura constitui o grande Belvedere. O "salão de baile" pedido pela Prefeitura de 1957, foi substituído por um grande Hall Cívico, sede de reuniões públicas e políticas. Um grande teatro-auditório e um pequeno auditório-sala de projeções completam este "embasamento". Acima do Belvedere, ao nível da Avenida Paulista, ergue-se o edifício do Museu de Arte de São Paulo. O edifício, de setenta metros de luz, cinco metros de balanço de cada lado, oito metros de pé direito livre de qualquer coluna, está apoiado sobre quatro pilares, ligados por duas vigas de concreto protendido na cobertura, e duas grandes vigas centrais para sustentação do andar que abrigará a pinacoteca do Museu. O andar abaixo da pinacoteca, que compreende os escritórios, sala de exposições temporárias, salas de exposições particulares, bibliotecas, etc., está suspenso em duas grandes vigas por meio de tirantes de aço. Uma escada ao ar livre e um elevador-montacarga em aço e vidro temperado permitem a comunicação entre os andares. Todas as instalações, inclusive a do ar condicionado, estão à vista. O acabamento é dos mais simples.

Concreto à vista, calafiao, piso de pedregulhos para o grande Hall Cívico, vidro temperado, paredes plásticas, concreto à vista com calafiao para o edifício do Museu. Os pisos são de borracha preta tipo industrial. O Belvedere é uma "praça", com plantas e flores em volta, pavimentada com paralelepípedos na tradição ibérico-brasileira. Há também áreas com água, pequenos espelhos com plantas aquáticas.

O conjunto do Trianon repropõe, na sua simplicidade monumental, os temas hoje tão populares do racionalismo.

The evocative touches and contours were abandoned, and the old works of art were no longer mounted upon velvet, as still to this day some specialists in museums advocate, or upon cloths of the times, but courageously placed upon a neutral background. Thus, the modern works in a standardization were situated in such a way as not to attract attention before the observer had noticed them. They do not say, therefore, "you should admire this, it's a Rembrandt", but rather leave the spectator to his own pure and unhampered observations, guided only by the captions, which are descriptive to a point that eliminates exaltation in order to have critical rigour. Picture frames were also eliminated (when they were not authentic to their times) and replaced with a neutral band. In this fashion the old works of art wound up located in a new life, alongside the modern ones, in a sense of taking part in the life of today as much as possible.

The New Trianon Museum is comprised of a base (on the Nove de Julho Avenue side), the covering of which forms the great Belvedere. The "ball room" request by the Municipal Government in 1957 to be replaced by a large Civic was Hall, a headquarters for public and political meetings. A large theater-auditorium and a small auditorium-projection room complete this base. Over the Belvedere, at the Paulista Avenue level, rises the São Paulo Art Museum building. The building with a clear span of seventy meters, five meters of cantilever at each end, eight meters of free floor to ceiling height at any column, rests upon four pillars, connected together by two prestressed concrete beams on the roof and two large central beams to carry the floor that is to house the Museum's Picture Gallery.

The floor below the picture gallery, which is to hold offices, temporary exhibitions halls, private exhibition halls, libraries, etc., is suspended from these two great beams on the roof by means of steel tie-rods.

An open air stairway and a steel and tempered glass cargo and passenger elevator provide communication between the floors. All the fa-

Finish is as simple as possible. Architectural concrete, whitewash, a pedra-goiás stone floor for the great Civil Hall, tempered glass, plastic walls, whitewashed architectural concrete for the Museum building. The flooring is made of industrial type black rubber.

The Belvedere is a "city square" surrounded by plants and flowers, paved with stones in true Iberic-Brazilian Tradition. Areas are planed holding water, small ponds with aquatic plants.

The Trianon complex is to replace, in its monumental simplicity, today's so unpopular themes of rationalism.

Por causas diversas alguns "incidentes" sobreviveram à construção do Museu.

Uma solda mal executada e um corte excessivo nos ferros de armação dos quatro pilares obrigaram a uma protensão vertical que não tinha sido prevista, e o ulterior acréscimo dos pilares ficará como "incidente aceito" e não como um contratempo a ser disfarçado, alisado, escondido.

Procurei recriar um "ambiente" no Trianon. E gostaria que lá fosse o povo, ver exposições ao ar livre e discutir, escutar música, ver fitas. Até crianças, ir brincar no sol da manhã e da tarde. E retreta. Um meio mau-gosto de música popular, que enfrentado "friamente", pode ser também um "conteúdo".

O tempo é uma espiral. A beleza em si não existe. Existe por um período histórico, depois muda o gosto, depois vira bonito de novo. Eu procurei apenas no Museu de Arte de São Paulo, retomar certas posições. Não procurei a beleza, procurei a liberdade. Os intelectuais não gostavam, o povo gostou: "Sabe quem fez isso? Foi uma mulher!!..."

For a number of reasons, some incidents occurred during the construction of the Museum. It was necessary an addition of a vertical prestressing to the pillars and this last-minute addition remains as an "accepted incident".

I even tried create an "atmosphere" in the Trianon. I would like the public to go there to see open air exhibitions and discuss things, listen to music, see movies.

Children, too, playing in the sun, from morning to evening. And brass band concerts. A somewhat bad taste in popular music which, when faced coldly, may also be a "content".

Time is a spiral. Beauty in itself is something that doesn't really exist. It exists during a historic period, and then the fashion changes it becomes something bad. In the São Paulo Art Museum I only tried to reassume certain positions. I didn't look for beauty, I looked for freedom. The intellectuals never liked it, but the people did: "You know who made this? It was a woman!!..."



CONSTRUÇÃO DO MUSEU

O edifício do Museu foi projetado pela arquiteta Lina Bo Bardi em 1957 e inaugurado em 1968, levando assim dez anos a sua construção. A referida arquiteta foi responsável pela realização da primeira sede do Museu, aberta ao público em 1947, bem como pelas montagens das exposições periódicas que sempre formaram as atividades básicas da instituição.

Está na Avenida Paulista, onde os assim chamados barões do café edificavam, no começo do século, seus palacetes. O local situa-se justamente no ponto em que a Avenida Paulista cruza com a Avenida Nove de Julho, denominado então romanticamente *Trianon*, ponto tradicional de encontro, com um modesto *belvedere* e ampla vista sobre a cidade, que ainda esperava pelos seus primeiros arranha-céus. Sob o *belvedere* existia um salão de festas, para reuniões, na maioria de caráter político e literário; porém, com frequência, realizavam-se ali bailes e recepções. Muitas foram as controvérsias surgidas até que o terreno pudesse ser destinado à construção do Museu. Tratava-se de uma área doada ao Município com a condição de se manter o *belvedere*, e esta condição foi imposta à arquiteta. A projetista criou, assim, uma esplanada ao nível da Avenida Paulista, a qual serve, igualmente, de cobertura para o *hall* cívico que substitui o salão do antigo edifício, atendendo destarte a outro pedido das autoridades municipais.

Superados satisfatoriamente os problemas iniciais, o edifício foi idealizado para ser um marco urbanístico na cidade, *a priori* capaz de despertar na coletividade a consideração que inspiram as obras públicas. Neste sentido, quando da construção do prédio do Museu, abriu-se mão da chamada medida humana e da monumentalidade, equívoco tradicional da arquitetura, para se operar diretamente sobre o sentimento de orgulho despertado pela propriedade coletiva.

Sem se recorrer ao senso do "espetacular", que hoje caracteriza considerável porção da arquitetura brasileira, tendo-se em conta que o irregular é mais comum que o regular, optou-se por uma estrutura ordenada numa forma simples e regular, isto é, racional e funcional.

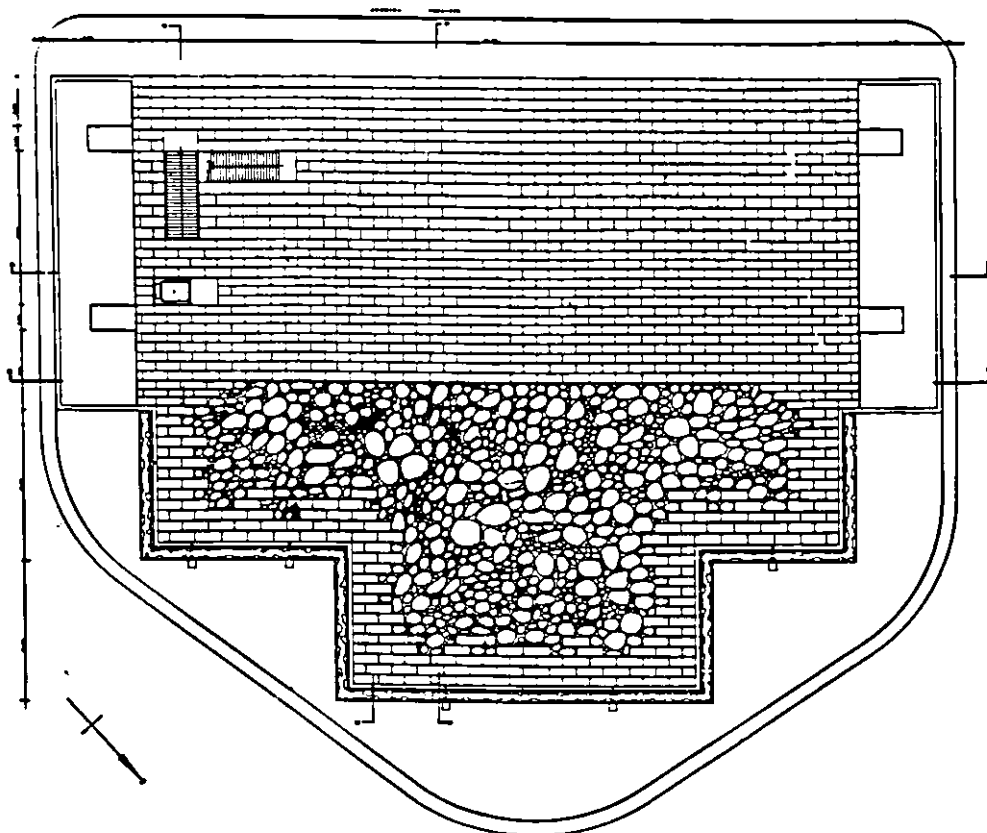
O terreno apresenta um desnível de 13 metros, sendo isolado por vias perimetrais. A arquiteta projetou uma estrutura completamente livre, cuja base de cobertura, formando a lembrada praça artificial e substituindo o velho *belvedere*, divide o edifício em duas partes: a inferior, situada abaixo do nível da Avenida Paulista; e a superior. Na parte inferior situam-se o Auditório e o Teatro, respectivamente de 100 e 500 lugares, para cursos, congressos, conferências, concertos, desfiles de moda, espetáculos teatrais e experimentais. O restante da área abriga o *hall* cívico, utilizado para grandes exposições e manifestações, além de depósitos, estúdio e laboratório fotográficos, serviços vários e outras instalações. O grande salão é servido por duas escadas de 14 m de balanço, engastadas em uma sapata. O *belvedere*, que resultou numa nova praça pública forrada com paralelepípedos de granito e ladeada por jardins e tanques com plantas aquáticas, destina-se também a exposições, representações e concertos ao ar livre.

Ligando os três pavimentos, há uma escada e um elevador de aço com capacidade para 36 pessoas, cuja estrutura fica à vista, protegida por uma caixa de vidro temperado. A parte superior do edifício, que conta com dois pavimentos, e a cobertura, com área em planta de 2.200 m², com 5 m de balanços laterais, apóia-se apenas em quatro pilares vazados de 4 m × 2,50 m. Os esforços são levados a esses pilares, que suportam uma carga vertical de 2.300 t cada uma, além de um momento flexor de 5.000 t/m², por intermédio de quatro grandes vigas protendidas. Duas destas vigas suportam apenas a cobertura, com um vão livre total de 74 m, recebendo cada uma o peso correspondente à largura de 15 m de laje. São vigas simplesmente apoiadas, com liberdade de movi-

mento na direção do eixo da viga, graças a estarem assentes em um pêndulo de 6,70 m de altura. Esta liberdade é essencial, tendo em vista os efeitos de temperatura e retração. As vigas, vazadas, possuem 62 cabos de 36 fios de 5 mm cada. As vigas que suportam os dois andares inferiores são também vazadas e resistem a um momento máximo, no centro do vão, de 20.000 t/m². Nos seus 74 metros de vão livre as vigas recebem a carga de 35 t/m². Como tais vigas devem ter liberdade para deslocamentos horizontais (pois em caso contrário a protensão deformaria os pilares ao invés de protender cada viga), a solução encontrada para eles foi a do apoio hidráulico, ou seja, apoio sobre bolsa de óleo, restringida por neoprene. O pavimento suspenso pelas duas vigas vence 70 m x 30 m com uma laje de caixão perdido, em concreto armado com 50 cm de altura, enquanto aquela do pavimento superior, apoiada sobre as vigas, apresenta uma laje de 4 cm apoiada sobre diversas nervuras.

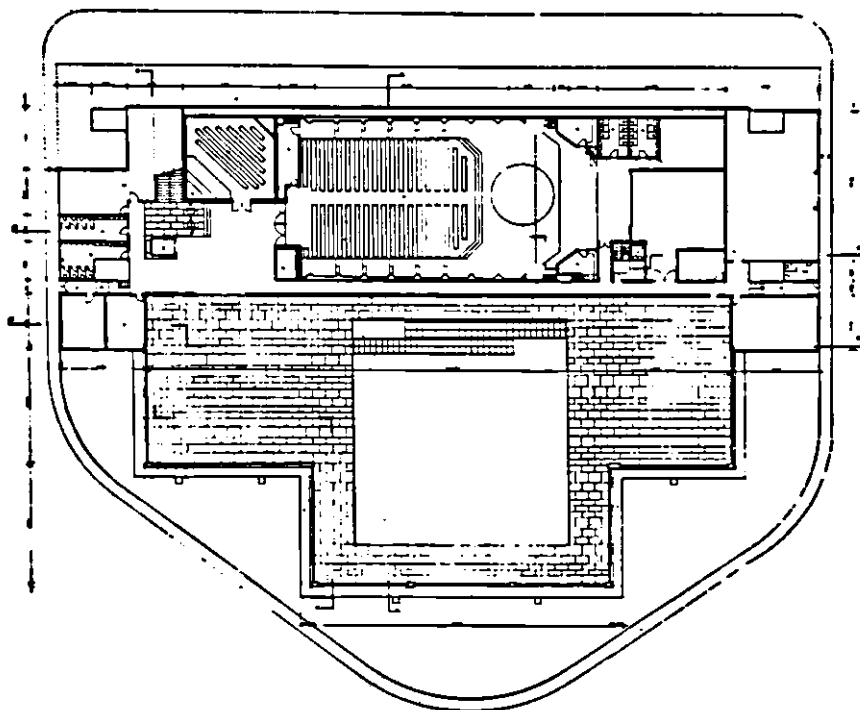
Os cálculos da estrutura estiveram a cargo de engenheiros consultores, sob a direção do engenheiro José Carlos de Figueiredo Ferraz, o qual aplicou sua própria patente de concreto protendido. O segundo andar abriga a pinacoteca. É iluminada com luz solar durante o dia e, à noite, com lâmpadas de vapor de iodo, colocadas lateralmente de modo a refletirem no teto caiado de branco. O acabamento em sentido tradicional foi eliminado em todo o edifício: nem o cimento armado recebeu tratamento especial. Todas as instalações técnicas encontram-se em evidência. Os caixilhos dos dois andares são de chapas de vidro de 6 m de altura, as maiores já executadas na América do Sul. O piso é de borracha negra, tipo industrial. A arquitetura do edifício foi, geralmente, bem aceita e, evidentemente, não faltaram discussões, pois as propostas da arquiteta surgiram como antecipadoras no campo museográfico, bem como as da apresentação das pinturas. Tendo-se presente que a pintura nasce no espaço livre, isto é, num cavalete, o seu estado original é evocado ao ser exposta em placas de vidro temperado, fixadas em bases de concreto, e não numa parede opaca. Concluiu-se que seria arbitrário pendurar numa parede, de uma ou outra cor, uma pintura que o autor preparou para um determinado ambiente. Por exemplo: os quatro retratos das filhas de Luís XV, de Nattier (que se encontram no acervo do Museu), destinados ao gabinete do Delfim no Castelo de Versalhes. Seria temeroso pendurá-los numa parede, e por isso opinamos que seria melhor expô-los livremente, isto é, num cavalete ideal. Entretanto as pinturas da nossa pinacoteca não estão soltas, no que diz respeito à sua colocação histórica, pois atrás das telas, em pranchas bem estudadas como meio de comunicação, encontram-se explicações didáticas ilustradas com reproduções, gravuras, mapas, gráficos e documentos que possam ajudar o visitante a compreender a obra em questão. De início este sistema suscitou surpresa e foi criticado pelos conservadores; mas o contrário ocorreu com os jovens visitantes, na faixa entre quinze e trinta anos, que acolheram bem a iniciativa, gostando da inovação.

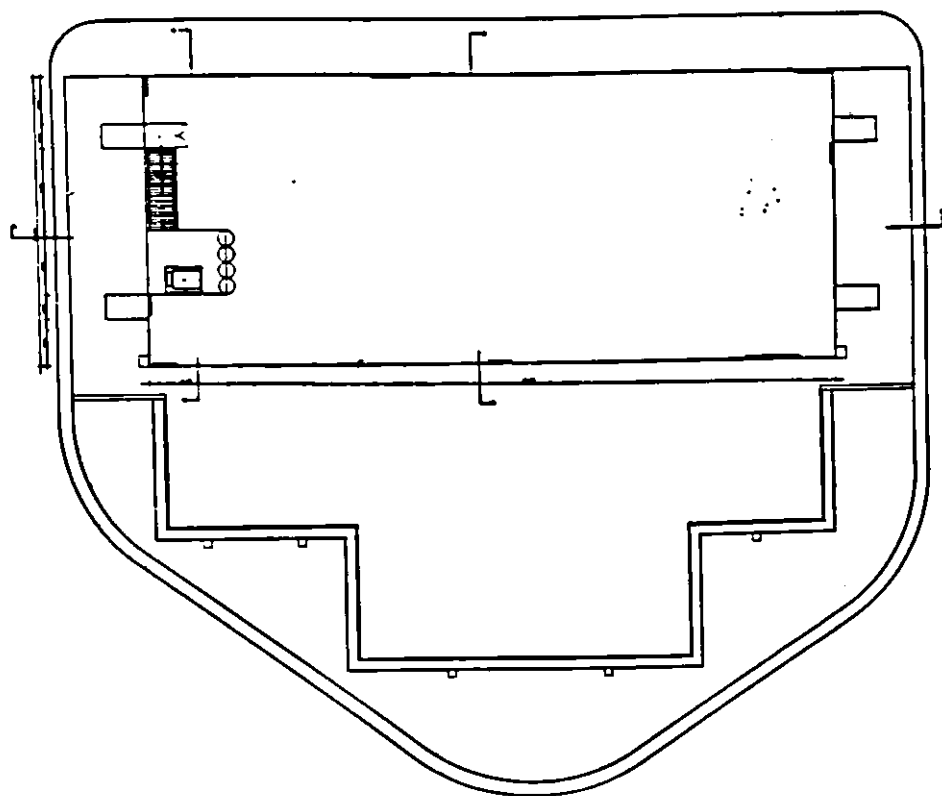
O primeiro andar é composto por um *hall*, onde funciona um balcão de venda de livros e revistas de arte, e pelo qual se tem acesso à sala de exposições periódicas, com 630 m² de área. Esta sala é flanqueada por dois corredores, sob as vigas que sustentam o andar, e por eles se atingem as salas de trabalho técnico e administrativo (diretoria, administração, conservação, planejamento de exposições, acervo, produções de audiovisuais, Instituto de História da Arte, biblioteca, fototeca, discoteca, departamento de cinema, música e cursos). As paredes das salas de trabalho, ao longo dos corredores, são de vidro, o que enfatiza o senso do espaço e a comodidade do ambiente. As salas, por sua vez, são divididas por paredes móveis.



Museu de Arte de São Paulo: planta ao nível da Avenida Paulista (cota 00). O grande Belvedere completamente livre de estruturas. Os quatro pilares que sustentam o bloco superior saem de dois espelhos de água que recebem as águas pluviais diretamente da cobertura.

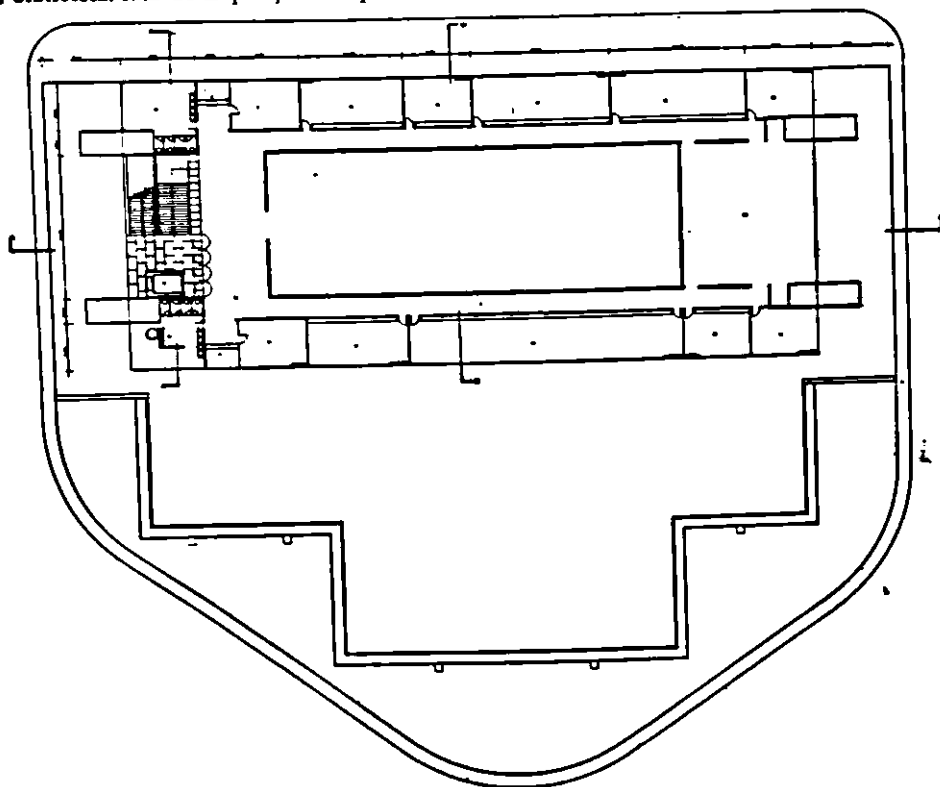
Planta do embasamento abaixo do nível da Avenida Paulista (cota - 4.50) com o salão de Convenções, o grande e pequeno Auditórios e demais serviços.

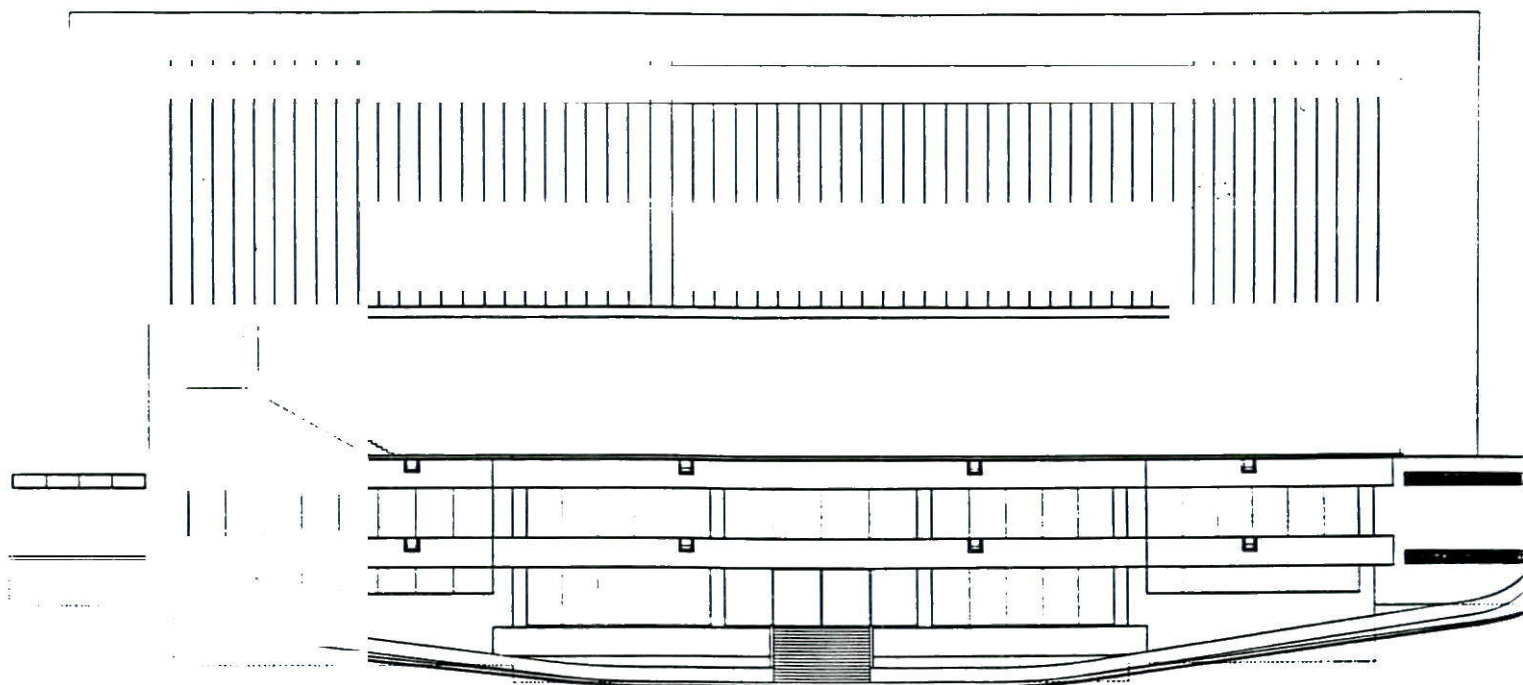




Museu de Arte de São Paulo: planta da Pinacoteca, no bloco superior (cota + 14.50).

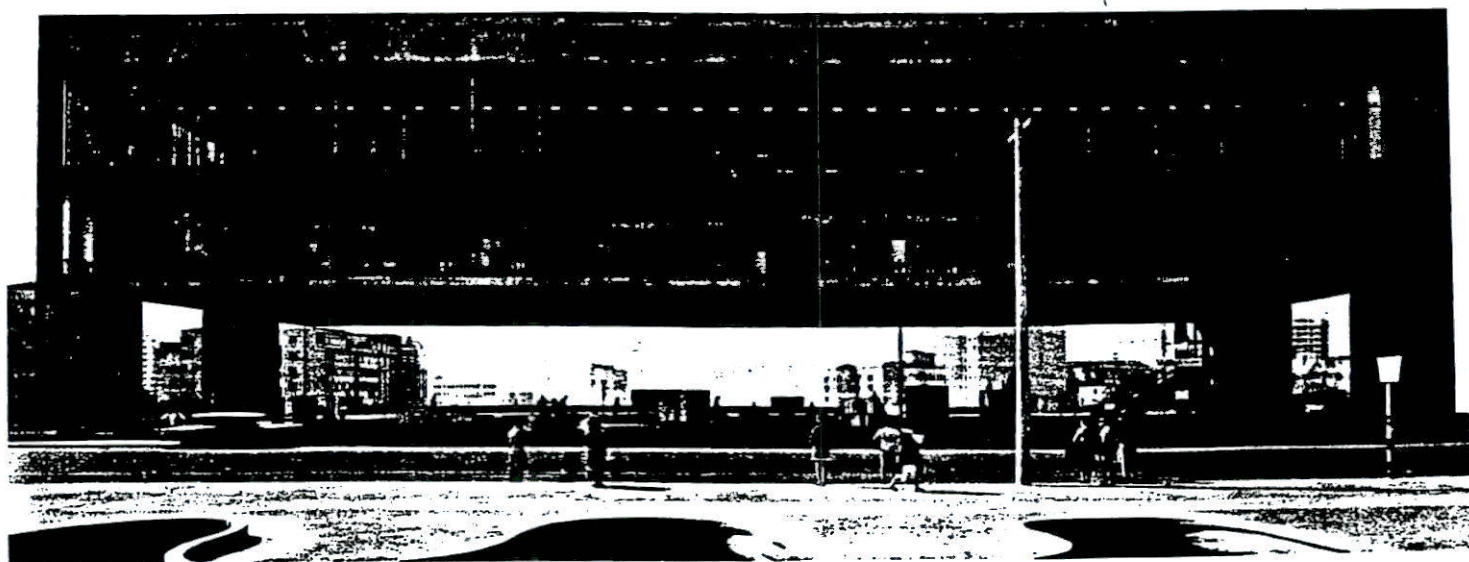
Planta dos escritórios, biblioteca, sala de Exposições temporárias e demais serviços no bloco superior (cota + 8.50).

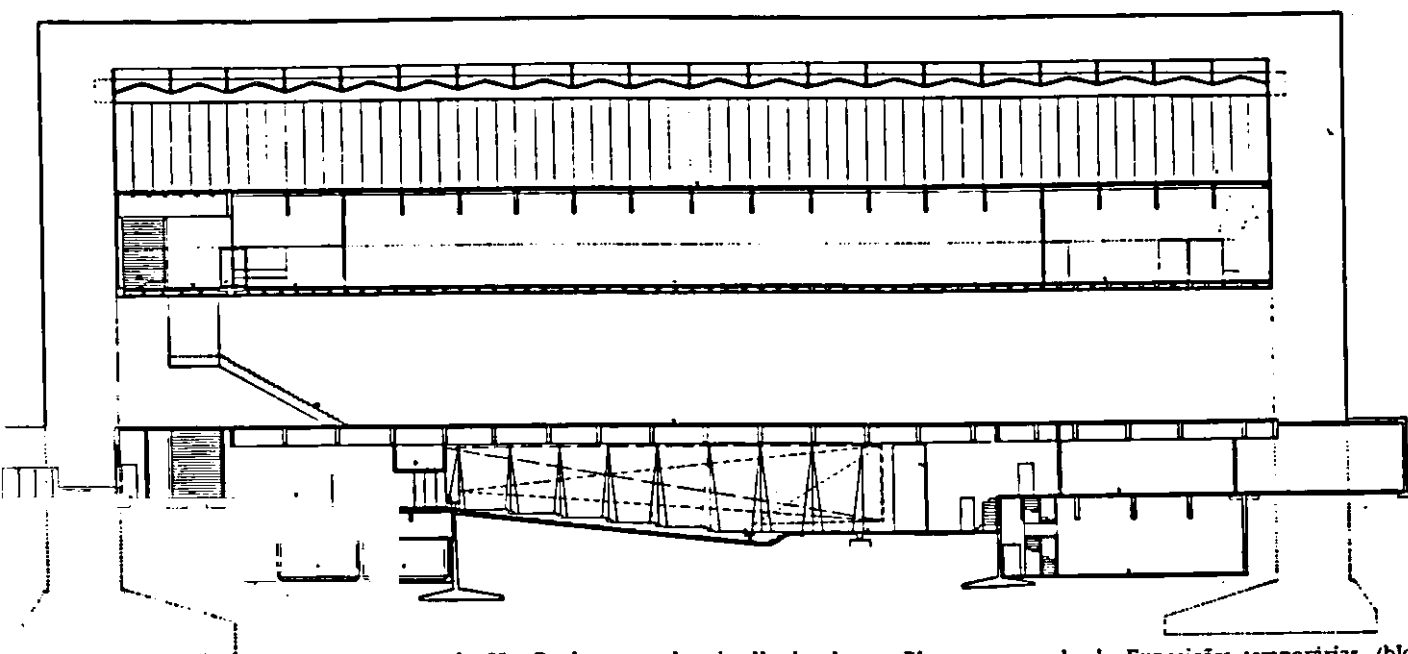




Museu de Arte de São Paulo: vista do lado da Avenida 9 de Julho. Bloco suspenso da Pinacoteca, escritórios, exposições temporárias. Praça Belvedere ao nível da Avenida Paulista delimitado pelas ruas Otávio Mendes e Plínio Figueiredo.

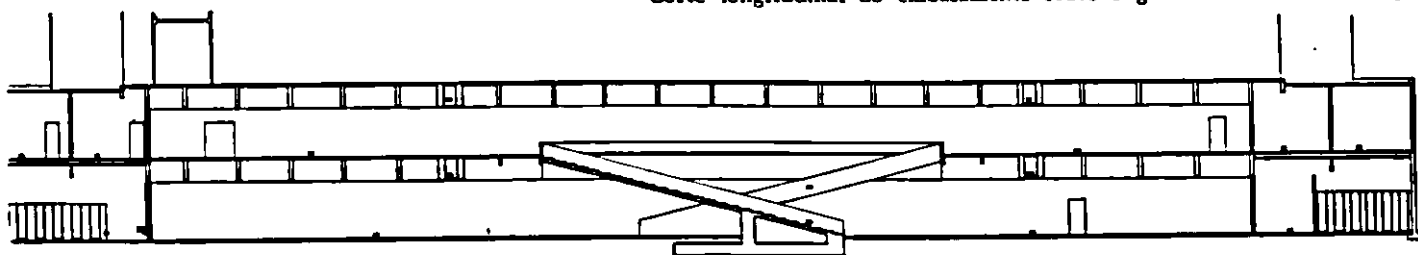
Vista do Museu do lado da Avenida Paulista.



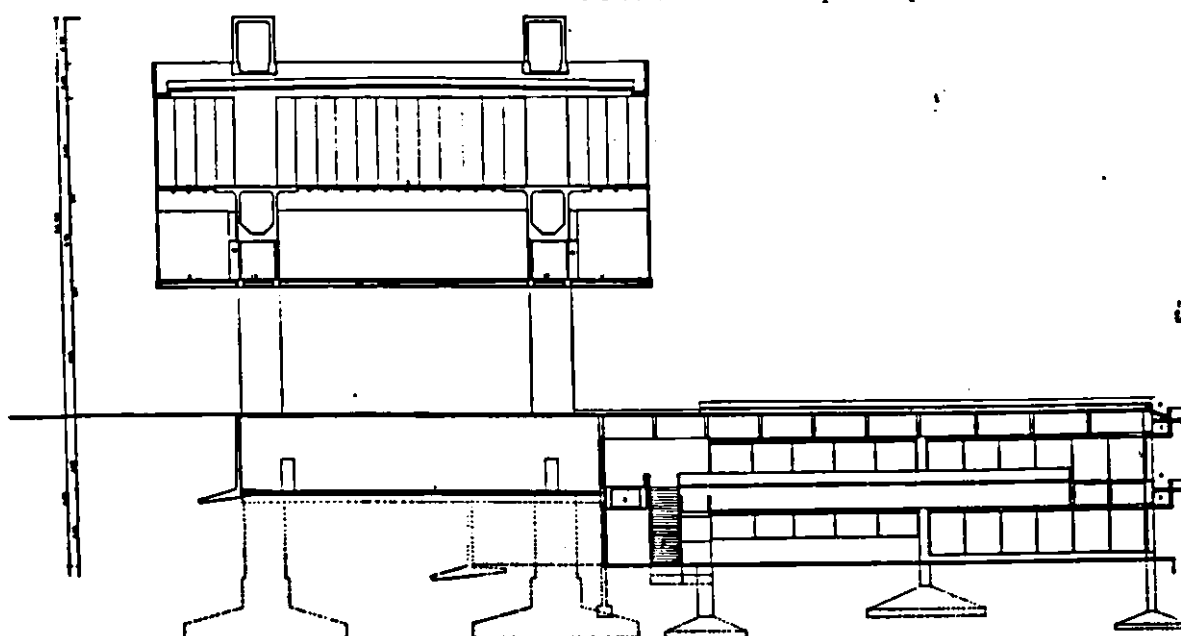


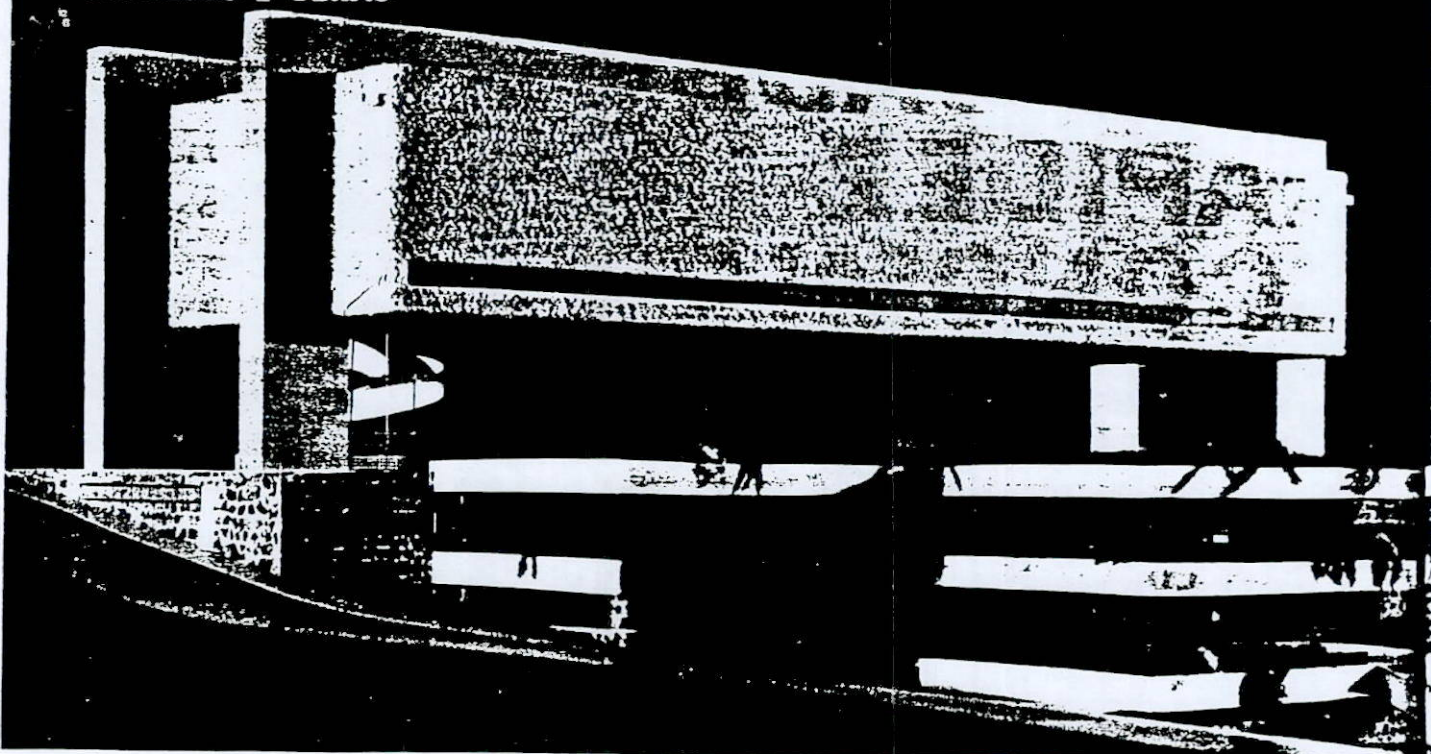
Museu de Arte de São Paulo: corte longitudinal sobre a Pinacoteca e sala de Exposições temporárias (bloco superior) e sobre o grande Auditório (embasamento).

Corte longitudinal do embasamento sobre o grande salão de Convenções.



Corte transversal sobre a Pinacoteca, escritórios, sala de Exposições temporárias (bloco superior) e o grande salão do embasamento, separados pelo Belvedere ao ar livre.





O edifício constará de dois corpos: um esparramado pela encosta, sobre o túnel, e outro elevado, definido pelos enormes pórticos

museu de arte é EDIFÍCIO-PONTE

Para resolver a estrutura do Museu de Arte, no Trianon, em São Paulo, o prof. José Carlos de Figueiredo Ferraz lançou, sobre os túneis da Av. 9 de julho, dois pórticos protendidos que deixam um vão livre excepcional para uma edificação urbana. As vigas serão protendidas, inicialmente, como peças simplesmente apoiadas, resolvendo-se de forma engenhosa o problema dos apoios sobre os pilares. Cuidados especiais estão sendo tomados pelos construtores com relação aos escoramentos, sistema de protensão e tecnologia do concreto. Reiniciada em fevereiro último, a obra poderá estar concluída dentro do prazo de um ano, aproximadamente.

Proeto que traz características de uma ponte, cargas de um grande edifício e uma finalidade bem determinada — abrigar o Museu de Arte de São Paulo — chamou particularmente a atenção dos especialistas que participaram do recente Congresso Internacional de Pontes e Estruturas, realizado na Guanabara.

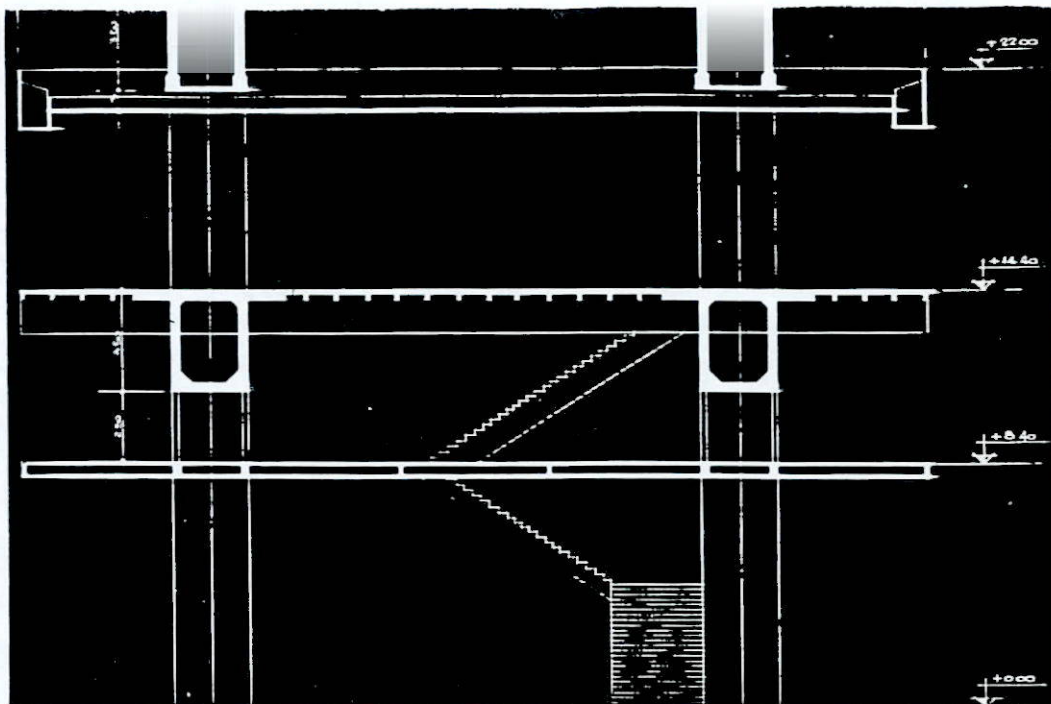
Vários deles não titubearam em classificar a obra como um passo de ousadia da engenharia nacional. Lançada no Trianon, para superar, sobre o túnel 9 de Julho, um vão de 75 m, o maior vão livre em estruturas urbanas, ela já denuncia seu caráter monumental, pelo complexo sistema de escoramento que ali está sendo erguido.

O Museu vai pendurar-se em dois pórticos gigantescos, deixando totalmente livre o andar térreo, para atender, especialmente, à necessidade de se manter desimpedida a vista sobre a cidade oferecida pelo espigão da Av. Paulista. Esse esquema justificou a adoção de uma estrutura protendida de caráter excepcional, que está exigindo cuidados especiais em matéria de técnica construtiva, desde o projeto dos escoramentos até os pormenores detalhados sobre a tecnologia do concreto.

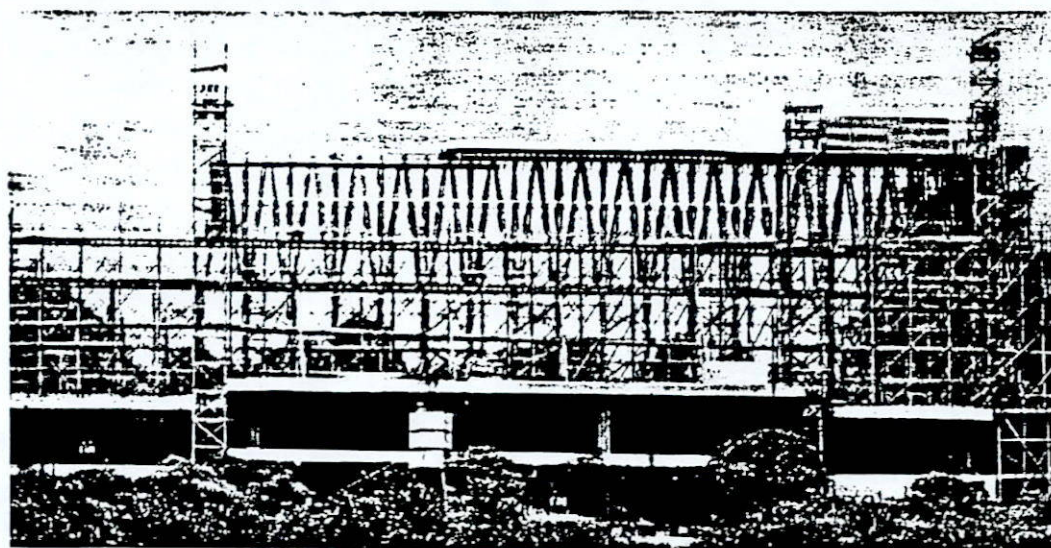
O prazo para que ficasse concluída a obra foi estimado em 24 meses, a partir da cota zero, nível da Avenida Paulista.



em concreto protendido



O corte transversal já dá uma idéia da solução estrutural; as vigas são em seção caixão



Sobre o túnel 9 de julho efetuam-se preparativos idênticos aos da construção de uma ponte

Portanto, se os trabalhos, reiniciados em fevereiro último, progredirem normalmente, pode-se admitir que a conclusão do Museu se dará em fins do próximo ano.

Projeto excêntrico?

Implantado num local tradicional da capital paulista, o projeto do Museu de arte é um dos exemplos críticos de estrutura de grandes dimensões, livre de colunas, coberta horizontalmente, sem arcos ou curvas. Todo o bloco inicia-se 8,5 m acima do nível da Av. Paulista, apoiado em dois pórticos de concreto protendido, que deixam livre o vão de 75 m. O arquiteto, d. Lina Bo Bardi, afirma que essa so-

lução não representa procura de originalidade, mas corresponde a uma necessidade bem definida.

De fato, o terreno da Av. Paulista foi doado à cidade de São Paulo com a condição de não ser ocupado por construções integrais, mas de ser utilizado como um *belvedere* público, com um grande terraço debruçado sobre a cidade. O projeto aprovado permite o aproveitamento do terreno com essas finalidades e a criação de um conjunto cultural, que abrigará, em caráter definitivo, a pinacoteca do Museu de Arte, escolas de arte, um pequeno teatro experimental e um grande salão para reuniões cívicas e recepções oficiais.

O bloco do Museu terá 30 m de largura, dos quais 5 em balanço para cada lado. Abaixo do nível da Av. Paulista, ocupando portanto toda a encosta voltada para o lado do centro da cidade, desenvolve-se a segunda parte do projeto, praticamente um edifício independente, cuja cobertura forma o terraço *belvedere* e onde se alojam salões e restaurantes, além de áreas de serviço.

Fundações sobre o túnel

Um dos problemas mais difíceis na construção do museu no Triângulo resultou da posição peculiar da obra, implantada no maciço que se ergue sobre os túneis da Av. 9 de Julho. O

calculista, eng.º José Carlos de Figueiredo Ferraz, que recebeu a estrutura, examinou a influência da sobrecarga produzida pelas fundações sobre o revestimento dos túneis, efetuando um estudo metódico, em face da excentricidade das solicitações. A soleira das fundações, do lado esquerdo da obra, no sentido cidade-bairro, situa-se apenas 8 m acima da cota superior dos túneis.

Os estudos desenvolvidos aprovaram a solução estrutural proposta e conduziram a fundações diretas, cujos dados fundamentais podem ser resumidos da seguinte forma:

Carga máxima das colunas 2250 t
Área das sapatas 10 x 12,5 m
Tensão no solo 2 kg/cm²
Volume de concreto nas sapatas 1000 m³

O projeto estrutural está profundamente marcado pelas peças que se erguem acima do nível da Av. Paulista. São apenas quatro grandes apoios, recebendo, dois a dois, as quatro vigas protendidas, com quase 80 m de extensão. Duas delas suportam a cobertura e as outras duas o peso de todo o resto da estrutura, ou seja, o carregamento excepcional de 25 t por metro linear nas mais solicitadas.

As vigas apóiam-se, em um dos lados, em peças pendulares de concreto, embutidas nos pilares, que permitem os movimentos decorrentes dos efeitos de retração.

O projeto apresenta a particularidade de combater o diagrama dos momentos de peso com a protensão, na forma de viga livremente apoiada. Previam-se, em consequência, consolos nos pilares, que criam condições para apoio das vigas e para a realização da protensão. Esses balanços já executados foram também protendidos. Na fase final da execução serão preenchidos os espaços entre os pilares

O Sistema Ferraz

O sistema de protensão "Ferraz", utilizado nas obras do Museu de Arte, caracteriza-se especialmente por permitir o emprego de uma gama enorme de valores de protensão — esses podem atingir mesmo a centenas de toneladas se a necessidade de empregar dispositivos especiais de ancoragem. A própria aderência, desenvolvida entre o cabo lançado

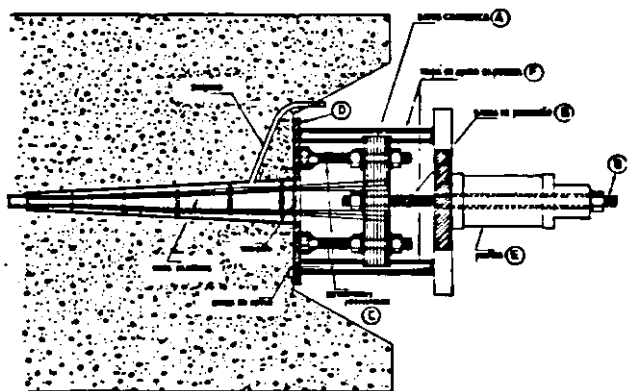
no interior da viga e a trombeta de extremidade, de comprimento reduzido, resolve o problema. Os desenhos esclarecem o processo em todas as suas fases. Os cabos, na extremidade por onde serão esticados, submetem-se a uma ondulação pela intercalação de argolas cujos diâmetros crescem gradativamente.

Esticado o cabo, a protensão é mantida através de retentores provisórios. Posteriormente, injeta-se a nata de cimento, com o que se preenchem os vazios da bainha e sobretudo da trombeta. Depois de 3 ou 4 dias, a pega da nata permite a remoção dos retentores. A força da protensão transmite-se assim ao concreto, através da aderência desenvolvida entre o cabo e a nata endurecida dentro da trombeta.

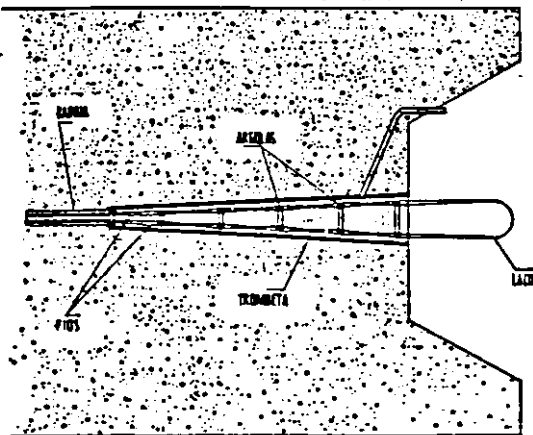
O processo beneficia-se grandemente da aderência desenvolvida em todo o interior da bainha.

Antes da realização da injeção, o sistema permite que sejam efetuadas várias distensões ao longo de determinado intervalo de tempo, a fim de que sejam compensadas as perdas de protensão por retração, deformação lenta do concreto e, também, fluência do aço.

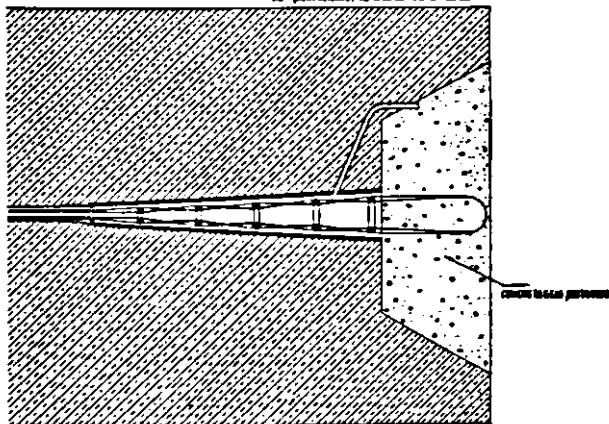
DISPOSITIVO DE PROTENSÃO



DETALHE DA ANCORAGEM MOVEL, COM OS CABOS FORMADOS POR PARES DE FIOS, TRANÇADOS POR ARGOLAS (RELÂNGUA)



ANCORAGEM TEMPORÁRIA DEZES DE CENTENAS DE TONELADAS DE CARGA



e as cabeças das vigas. O conjunto todo será, pois, conectado, enrijecendo-se as ligações viga-pilar, o que obrigará a estrutura a trabalhar, posteriormente, como pórtico, para as cargas accidentais de serviço.

O sistema de protensão

Em virtude do vão e da enorme carga a ser suportada, as vigas de concreto protendido, cujas fôrmas já foram iniciadas, constituiram o problema central do projeto estrutural. Elas foram concebidas em seção caixão, com 3,5 m de altura e serão protendidas pelo sistema "Ferraz", patenteado pelo próprio eng.º calculista, que o tem utilizado amplamente em outras obras do gênero, sobretudo em pontes. Já bastante conhecido, o processo realiza a ancoragem dos cabos lançados no interior da viga por mera aderência.

Esses cabos serão implantados de modo a aproveitar o diagrama dos momentos, iniciando-se os primeiros a 10 m do eixo da viga, simetricamente colocados em uma curva pré-determinada. Os cabos maiores, dispostos horizontalmente, cobrirão toda a extensão da viga. Nas vigas superiores, serão ao todo 52 cabos de protensão, cada um com 36 fios de aço comum de 5 mm. As vigas inferiores serão percorridas por 104 cabos de 40 fios. Es-

sas peças conseguem resistir a esforços superiores a 80 toneladas.

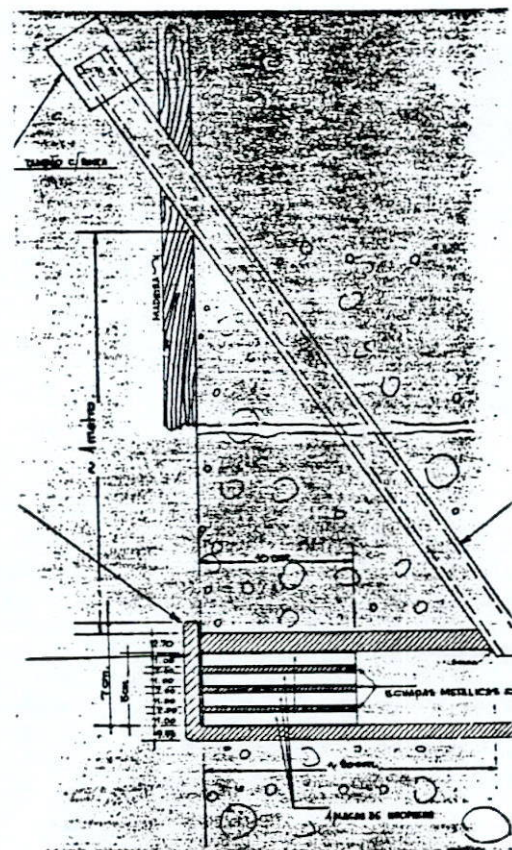
Os cabos são revestidos por uma bainha, constituída por um tubo corrugado de chapa dupla de grande resistência. Feita a protensão, através de macacos hidráulicos com capacidade de 120 toneladas, injeta-se nata de cimento, consolidando-se o cabo no interior da bainha. Isto permite, entre outras vantagens, que o processo se beneficie da aderência posteriormente desenvolvida.

Em face do enorme comprimento dos cabos, os calculistas recomendaram o uso de visores de injeção, que permitirão reduzir o atrito durante a protensão e facilitar a operação de injeção de cimento.

A utilização de aço CAT-50 e o emprego de um concreto cuja tecnologia mobilizou os especialistas do setor, completa a série de recomendações dos calculistas.

O problema dos apoios

Em todo o esquema estrutural, no entanto, o problema mais delicado, do ponto de vista da execução, refere-se ao apoio das vigas protendidas nos pilares. O peso das duas peças mais carregadas dará reações de apoio superiores a 1000 toneladas, suficientes para criar imensas dificuldades à



A planta mostra a solução encontrada para o problema do atrito nos apoios



Nos consolos onde se apoiarão as vigas já se aplicou a protensão; nota-se o macaco hidráulico e a extremidade das bainhas



Na atual fase dos trabalhos a obra impressiona pelo treliçado para escoramento de grandes vigas de concreto protendido

protensão, devido ao atrito viga-pilar no momento da aplicação dos esforços. A colocação de rolos metálicos de apoio, normalmente usados em casos semelhantes, para permitir a rolagem das vigas na fase de protensão, foi abandonada como impraticável, pois as dimensões fogem tanto do usual que tôdas as soluções normais resultam inexecutíveis.

A solução encontrada, porém, foi bastante engenhosa. A viga está sendo apoiada sobre uma faixa de *neoprene*, que se fecha sobre um perímetro retangular, deixando entre a base da viga e a do apoio um espaço, limitado por chapas metálicas finas. Por um orifício, deixado propositalmente na viga, injetar-se-á óleo por bomba manual, sendo então despertada uma tensão que destacará a viga do apoio das placas de *neoprene*. Isto torna possível a realização da protensão sem o inconveniente de tensões parasitas na viga de concreto ou de momentos fletores adicionais nos pilares. Sem esses cuidados, poderia ocorrer o colapso dos pilares de apoio.

Escoramentos e concretagem

Os escoramentos para as vigas superiores, semelhantes aos utilizados em pontes, são formados por uma sucessão de treliças constituídas por toras de eucaliptos, com 25 cm de diâmetro e 11 m de comprimento, desenvolvidas em dois lances. A relativa lentidão com que progride o trabalho explica-se, pois qualquer movimentação de peças implica em deslocar mais de 100 kg. Todo o sistema de escoramento está ancorado, por meio de ca-

bos, diretamente na grande laje de cobertura do bloco inferior.

O grande volume de concreto exigido pelas vigas, cerca de 250 m³ para cada uma, obrigou a elaboração de um minucioso plano de concretagem, que prevê 5 dias consecutivos de trabalho. Inicialmente, será concretada a parte central, abaixo da linha neutra, a seguir as extremidades, os terços médios, inferior e superior e, no último dia, a parte central superior.

A dosagem do concreto está merecendo cuidados especiais, não só da firma empreiteira, que montou um pequeno laboratório na obra, como por parte do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, da Associação Brasileira de Ci-

mento Portland e do Escritório Técnico Figueiredo Ferraz.

No laboratório do canteiro faz-se a análise de todo o material empregado. O grau de umidade dos agregados é controlado permanentemente, verificando-se também com rigor a granulometria da pedra e da areia empregadas no concreto. A areia utilizada é proveniente do rio Paraíba.

A resistência à ruptura imposta nos cálculos é de 550 kg/cm². Espera-se que, com a aplicação de *plastiment* para retardar a pega com a revibração do concreto, duas ou três horas após o lançamento, se alcance, a 28 dias, uma resistência de 700 kg/cm² com um concreto definido pela relação



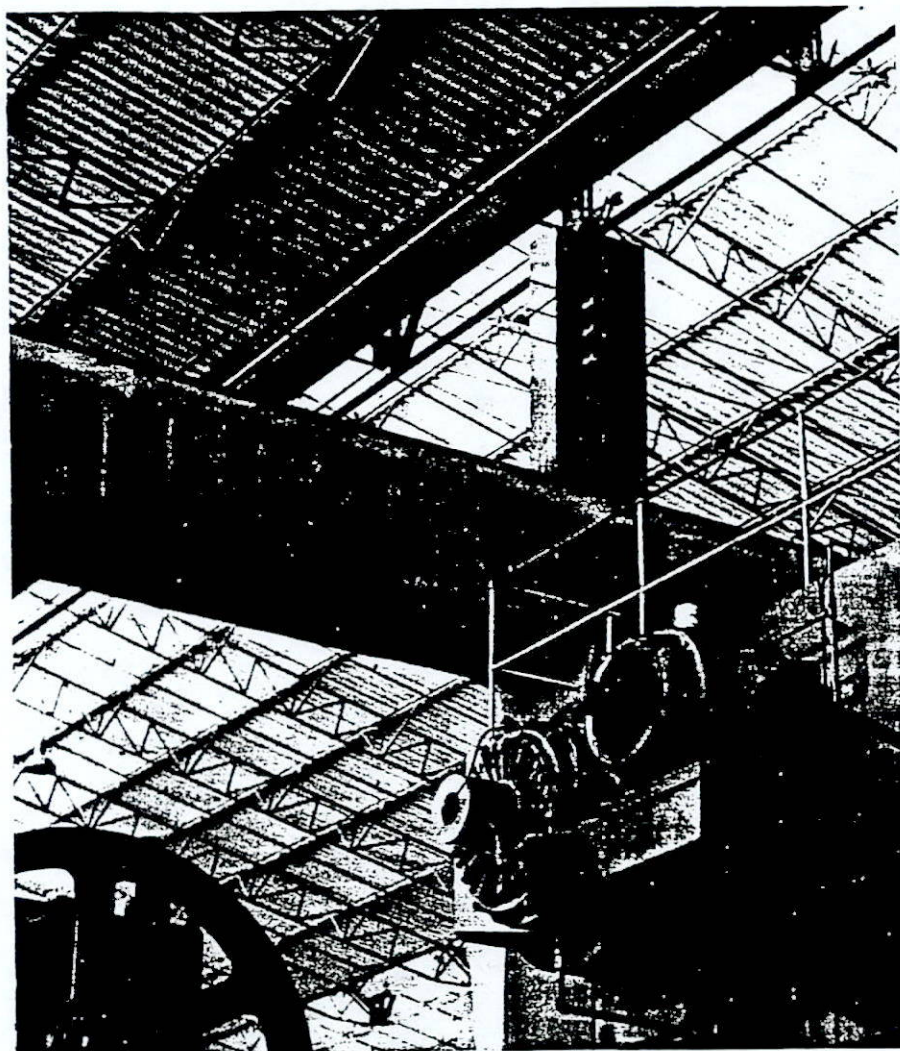
Túneis recalculados

Para analisar a influência das fundações do Museu sobre os túneis da Av. 9 de julho, o Escritório Técnico Figueiredo Ferraz efetuou o recálculo dos túneis, considerada a nova modalidade de solicitação.

Foram compulsados todos os arquivos de desenho da Prefeitura a fim de se obter a localização dos detalhes estruturais, indispensáveis para o esclarecimento dos métodos de cálculo e de dimensionamento das abóbadas de revestimento. A busca estendeu-se também aos arquivos da Companhia Construtora Brasileira, firma que se encarregou da construção dos túneis.

Conhecidos os pormenores da estrutura, disposição e quantidade das armaduras, os calculistas avaliaram, mediante a elaboração de um novo cálculo estático, o comportamento das abóbadas dos túneis.

O cálculo não se limitou à determinação das tensões oriundas de tôdas as solicitações do maciço de terra e da sobrecarga das obras do Trianon, como visou também à determinação do coeficiente de segurança das estruturas dos túneis. Para que esse objetivo pudesse ser atingido, foi empregado o critério da ruptura no exame do comportamento estático do revestimento.



chapas onduladas de cimento-amianto?

Eternit

Para coberturas práticas, econômicas e racionais, use chapas onduladas de cimento-amianto Eternit. Resistem à chuva, ao fogo e à corrosão. São leves, fáceis de manusear. Adaptam-se a qualquer tipo de construção graças à completa linha de acessórios. E as chapas onduladas Eternit podem ser pintadas com Eternit - a tinta especial para cimento-amianto.

ETERNIT DO BRASIL CIMENTO AMIANTO S.A.
eternit é cimento-amianto há mais de 60 anos

Projetos e Obras



Escoramentos exigiram emprêgo de madeira tratada de dimensões especiais

água/cimento igual a 0,32. Aliás, os ensaios já efetuados deram resultados altamente satisfatórios. Esse concreto, com 11 sacos de cimento por m³, acusou, na execução dos pêndulos de apoio, a resistência de 550 kg/cm², com 7 dias, o que pode ser considerado um resultado excepcional. Convém notar ainda que a técnica da revibração do concreto aumentou de 1/3 a sua resistência.

A concretagem da primeira viga, dentro do cronograma da obra, deverá ocorrer em fins deste mês.

Firmas e profissionais

O projeto do Museu de Arte de São Paulo é de autoria do arquiteto d. Lina Bo Bardi, com a fiscalização a cargo do eng.^o Roberto Carvalho Rochlitz. A concepção e o cálculo da estrutura foram confiados ao Escritório Técnico J. C. Figueiredo Ferraz.

A firma construtora é a Heleno & Fonseca. A supervisão das obras está a cargo do Departamento de Engenharia da Prefeitura Municipal de São Paulo, sob a chefia do eng.^o Ernesto de Faria Alves.

O terreno preocupou várias firmas e entidades, pelo menos 10 anos antes do efetivo reinício dos trabalhos. Já em abril de 1952, o eng.^o Milton Vargas, chefe da seção de solos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, elaborava um relatório sobre o problema. Em 1960, a Sondotécnica fez as sondagens. Finalmente, quando a construtora iniciou os trabalhos de fundações, foi tecnicamente assessorada pelo prof. Sigmundo Golombeck. ●

que se pode esperar ainda do protendido?

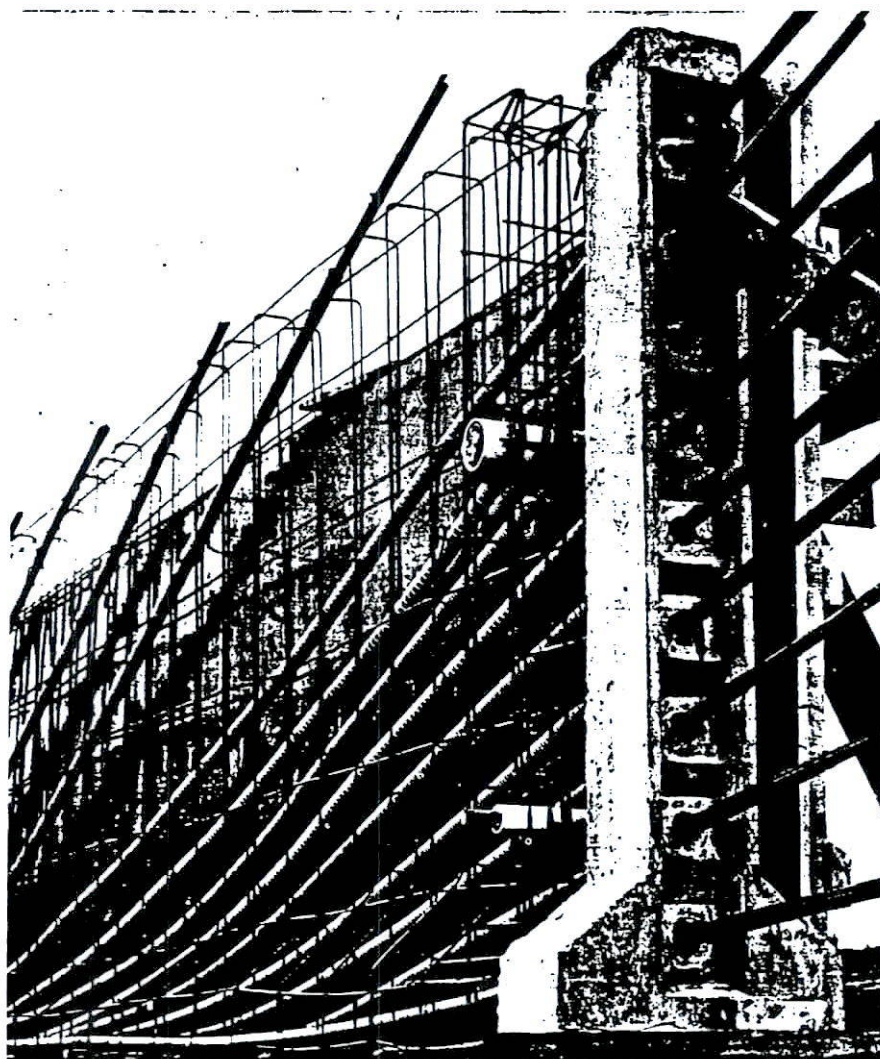
As diferenças básicas entre as várias patentes de processos de protensão residem na forma de execução da ancoragem e da armadura e na bitola e qualidade dos fios. Neste artigo mostramos as características dos processos mais usados no Brasil e as perspectivas de evolução que ainda se esperam na área

É opinião geral dos especialistas que uma evolução nos sistemas de protensão será difícil, porque sob o aspecto científico a técnica está totalmente desenvolvida. Pode-se esperar, entretanto, pelo aparecimento de equipamentos cada vez mais sofisticados para proceder à distensão dos fios, bem como o lançamento de cabos de grande potência. Dessa forma, as pesquisas atuais têm-se voltado especificamente para aumentar a capacidade dos cabos, que alcançam hoje, 120, 200 e até 400 t, conforme o processo e o equipamento utilizados.

Mais importante, para os especialistas, é a divulgação dos aspectos técnicos da protensão e das características dos equipamentos e materiais necessários entre os encarregados de executá-la. O perfeito conhecimento da técnica permitirá, seguramente, um controle mais rigoroso durante a própria execução.

Embora existam no mundo todo cerca de 120 patentes de processos, no Brasil os mais utilizados são o Freyssinet, o Rudloff, o Ferraz e o Losinger, sendo que a grande maioria das obras é executada pelo primeiro.

Porque a protensão — A grande vantagem que a protensão oferece como método construtivo é proporcionar a maior resistência da peça às cargas de trabalho e outros esforços solicitantes, permitindo, ao mesmo tempo, substancial redução do peso próprio da peça concretada. Para que a ferragem que compõe a armadura de



PROTENSÃO PELO PROCESSO FREYSSINET: A VIGA ESTÁ SENDO PREPARADA PARA CONCRETAGEM, VENDO-SE A DISPOSIÇÃO CORRETA DA ARMADURA E DOS CABOS DE PROTENSÃO

uma peça concretada comece a trabalhar há necessidade do aparecimento de fissuras, visíveis ou não, no concreto, que indicam o recebimento, pelo aço, das tensões produzidas pelas cargas. Como a resistência do concreto à tração é pequena e incerta, no concreto armado não se pode fazer com que a armadura seja solicitada com tensão muito elevada, pois não há correspondência entre os alongamentos do aço e do concreto, havendo o perigo de se produzir fissuras

com cabos protegidos por bainha metálica em sua posição correta. Após um determinado período de cura, procede-se à protensão dos fios.

Se, porém, após a protensão for injetada nata de cimento, diz-se que o sistema é com aderência posterior. Esse sistema é o mais empregado, principalmente quando se trata de peças sujeitas a grandes carregamentos.

Normalmente, em pistas de pré-moldagem emprega-se a protensão com aderência inicial, com os fios

O P-NB-116 proíbe protensão limitada em pontes ferroviárias, tirantes, peças em contato com meios agressivos, e em qualquer peça de concreto protendido sem aderência, porque nesses casos o aparecimento de fissuras pode condenar a obra.

O processo Freyssinet — A forma de se fixar as extremidades das armaduras previamente tracionadas, ou seja a ancoragem, é o que caracteriza a maioria dos processos.

No Freyssinet ela é feita por cones de 12 ϕ 5, 12 ϕ 7 e 12 ϕ 8. Essa ancoragem compõe-se de um corpo cilíndrico de argamassa de alta resistência fortemente fretado, chamado cone fêmea, com cavidade central de forma cônica e revestida por um enrolamento de alta resistência com espiras juntas contra as quais se aplicam os fios dos cabos. Faz parte também do conjunto outro corpo de fixação dos fios, chamado cone macho, com cavidade central de forma cônica e revestida por um enrolamento de aço de alta resistência com espiras juntas contra as quais se aplicam os fios dos cabos.

Faz parte do conjunto, também, outro corpo de fixação dos fios, chamado cone macho, que tem forma de cunha tronco-cônica, feita de argamassa de alta resistência, tendo na superfície ranhuras destinadas a alojar os fios. Um tubo central de aço permite a injeção de nata de cimento que deve preencher toda a extensão do cabo após a protensão da peça.

Quando a força de protensão que se quer dar aos fios atinge valores acima dos especificados para resistência dos elementos de ancoragem, pode-se, ainda, recorrer ao emprego de cones de 12 ϕ 7 e 12 ϕ 8 metálicos. A aplicação de um esforço mais elevado que o especificado visa a combater as perdas por atrito que se verificam em cabos longos e curvos.

O processo Freyssinet utiliza também a ancoragem composta de cones macho e fêmea de aço forjado para 12 ϕ 1/2" nos casos em que a unidade de protensão deva ser elevada.

Em certas situações, como a proximidade de obra de construções vizinhas, a técnica recomenda que se use o sistema de ancoragem por botões numa das extremidades do cabo. Nesse caso empregam-se barras de aço duro com diâmetros de 5, 7 e 8 mm, que permitem a execução da



CONES METÁLICOS, DISPOSITIVO DO PROCESSO RUDLOFF, UTILIZADOS NA ANCORAGEM

muito abertas. O limite de segurança estabelecido é de que a fissura não ultrapasse 0,2 mm.

Dos estudos desenvolvidos por Eugene Freyssinet pôde ser aplicado o efeito físico da protensão no tracionamento prévio da armadura que, ao tender voltar à posição original, provoca tensões de compressão no concreto; compensando, assim, as tensões de tração provocadas pelos carregamentos e eliminando os inconvenientes do concreto fissurado.

Os sistemas — São conhecidas, no meio técnico, três maneiras de se executar a protensão, em função do comportamento aço/concreto.

Pode-se executar protensão sem aderência, quando a peça é concretada

protendidos antes da concretagem da peça e dispensando, portanto, o uso da bainha.

Protensão completa ou limitada

— A norma para concreto protendido, P-NB-116, da ABNT, define a protensão completa como sendo aquela em que não se verificam tensões normais de tração na seção transversal, exceto as transitórias, logo após a aplicação da protensão ao concreto.

E protensão limitada é a que permite tensões normais de tração, além das transitórias, quando da solicitação das cargas acidentais e móveis. No entanto, quando retirado 50% das cargas acidentais e móveis a peça deverá satisfazer as condições de protensão completa.

ancoragem morta num extremo do fio e a aplicação da protensão na outra extremidade do cabo.

Outros dispositivos — O processo Freyssinet utiliza bainha metálica, que serve para isolar os cabos do concreto, permitindo que se proceda à protensão após determinado período de cura do concreto no qual se obtém a resistência desejada geralmente em torno dos 7 dias ou menos, quando são empregados processos artificiais de apressamento da cura.

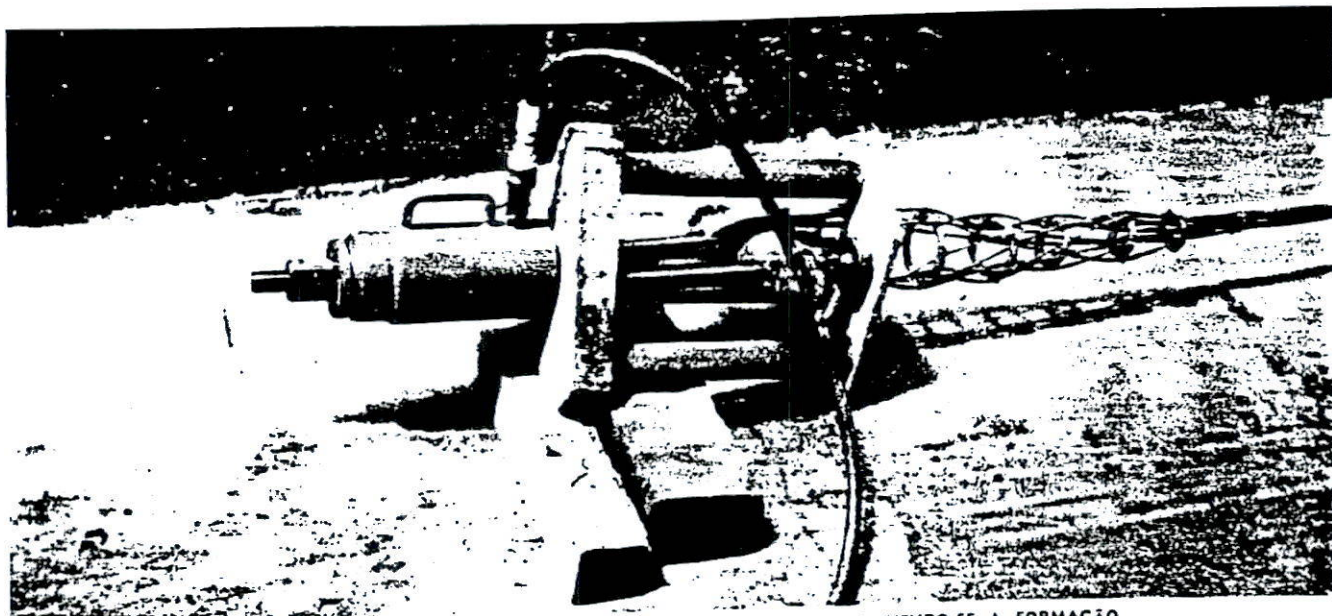
A bainha deve ser estanque para

fixa-se as extremidades da armadura para que a tensão se mantenha, o que muda e caracteriza as várias patentes de processo é a forma de proceder a essa fixação.

Dos processos que empregam fixadores por atrito dos fios por meio de cunhas, os mais conhecidos são o Freyssinet e o Rudloff, embora o Losinger, que é um processo mais sofisticado e que exige equipamento de protensão de maior capacidade, também venha se firmando no mercado, principalmente no emprego de unidades de protensão acima de 100 t úteis.

zado pelo fato de os cabos serem obtidos com fios dispostos aos pares, ondulados mediante o seu trançado, numa sequência de argolas circulares, de diâmetros gradativamente crescentes dispostas desde o início até o fim da trombeta.

Os fios têm sempre o dobro do comprimento do cabo, percorrendo-nos dois sentidos e formando o laço de ancoragem por onde se processa a protensão. Na extremidade fixa do cabo os fios terminam com ondulação e se abrem em forma de cone para permitir a penetração da nata de ci



MACACO DE PROTENSÃO EMPREGADO PELO PROCESSO FERRAZ, VENDO-SE A FORMAÇÃO DA TROMBETA QUE SERVIRÁ DE ANCORAGEM DOS CABOS APÓS A CONCRETAGEM

impedir a penetração do concreto e suficientemente resistente para não amassar sob o peso do concreto e durante sua manipulação. Deve ainda ser flexível, para poder assumir as curvas dos cabos em função dos detalhes do projeto.

O processo adota, ainda, molas centrais que servem de núcleo para os cabos. Essa mola central provoca a irradiação uniforme dos esforços suportados pelos cabos de protensão à massa de nata de cimento injetada. Seu consumo na obra está sempre em torno de 20 kg/t de aço duro.

Outros processos — Como a sequência dos sistemas de protensão são teoricamente semelhantes para todas as execuções, ou seja, protende-se e

No processo Rudloff, a forma de executar a protensão assemelha-se à do Freyssinet. A diferença entre ambos está na ancoragem pois, enquanto a solução encontrada para este último processo é típica do engenheiro civil, ou seja, o uso de cone de concreto cimentado, no Rudloff foi dada uma solução de engenheiro mecânico, com emprego de cones metálicos.

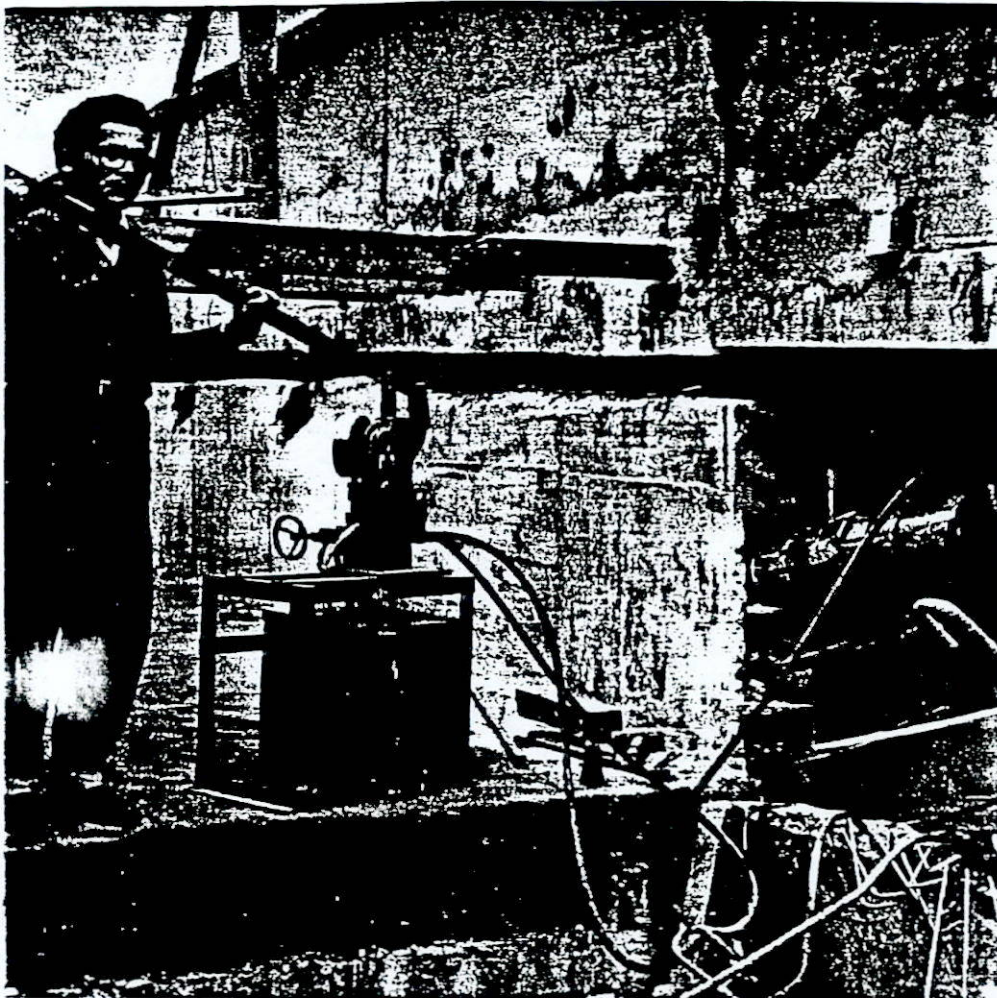
Outros processos fazem a ancoragem por suportes que recalcam a cabeça dos fios, mas no Brasil praticamente não são empregados, com rara exceção para o BBRV da Suíça.

O sistema Ferraz executa a ancoragem por aderência ao longo dos fios e por laços ou leques dos elementos de protensão na própria argamassa (trombeta). É um processo caracteri-

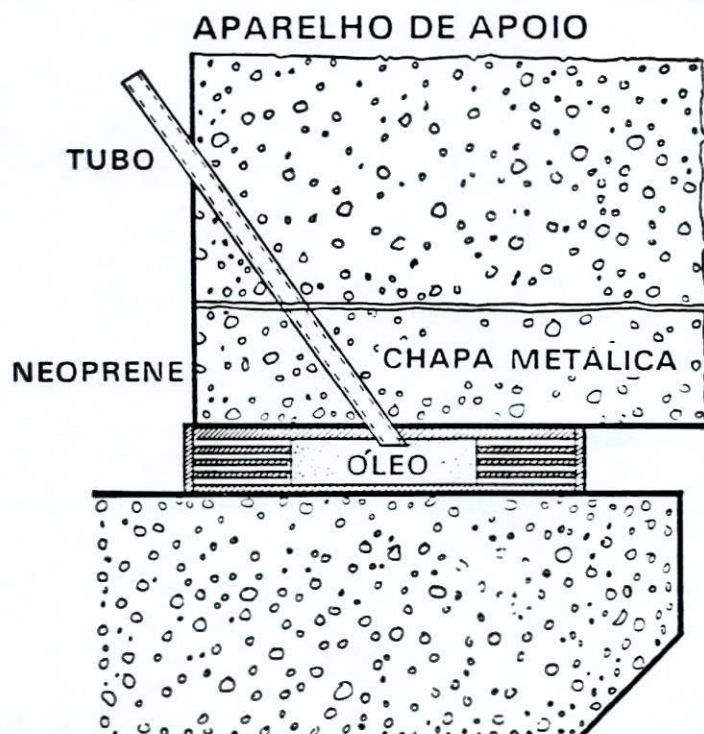
mento, sendo envolvidos por uma armadura especial de cintamento. O laço deve manter um raio não menor que 50 mm, a fim de não prejudicar a resistência dos fios que aí são dobrados.

Na extremidade móvel do cabo os fios são obrigados a passar por diferentes argolas de diâmetros progressivos e localizadas dentro da trombeta, com espaçamentos que dependem da força de protensão.

Depois de executada a protensão injeta-se nata de cimento sob pressão para preencher os vazios existentes na bainha de alojamento dos cabos e na trombeta. Após iniciada a cura da nata quando o concreto já atingiu determinada resistência, as ancoragens provisórias são retiradas e a força de protensão fica mantida através da aderên-



PEÇA SENDO PROTENDIDA COM AUXÍLIO DE BOMBA MANUAL, NO PROCESSO FREYSSINET



cia despertada na trombeta, muito embora se possa contar também com a aderência desenvolvida em todo o comprimento da bainha.

O cabo pode ser colocado na viga de forma que a trombeta termine dentro de um nicho. Assim, depois que o cabo for libertado das ancoragens provisórias, o laço externo é concretado no nicho, constituindo um reforço de ancoragem.

O processo Ferraz difere dos outros porque no final nenhuma peça estranha, como placas, cone, discos etc., ficam perceptíveis, como ocorre nos outros processos de protensão. Por outro lado, é um processo de execução que requer um melhor planejamento de retenção só pode ser retirado depois que a nata de cimento adquire resistência suficiente para suportar as tensões dos cabos protendidos.

Materiais requeridos — O concreto utilizado em protendido deverá ser de maior resistência que o usado para concreto armado convencional. Enquanto para este último os controles tecnológicos indicam $R = 135/150$ kg/cm², no protendido essa ordem de grandeza deverá ser de $R = 250/300$ kg/cm².

A fim de que os problemas de elasticidade, plasticidade, retração etc., que afetam o comportamento do concreto, sejam eliminados ou reduzidos, devem ser observadas algumas precauções, tais como:

- dosagem racional, cuidando-se para obter a melhor relação água/cimento;
- vibração adequada e na medida necessária para que o concreto se apresente com boa compacidade;
- mojar convenientemente as formas antes do lançamento do concreto; e
- proteger a superfície recém concretada para obtenção da cura, livre de influência externas.

Os engenheiros da Roberto Rossi Zuccolo Engenharia Civil e Estrutural Ltda., de São Paulo, firma que vem promovendo cursos sobre concreto protendido para encarregados de obras, admitem que o emprego de aditivos para acelerar a cura do concreto deve ser feito com alguma cautela, para evitar que esse acelerador ataque os fios de protensão, provocando corrosão que poderá danificar a peça.

A dosagem do concreto é realizada pela análise granulométrica, em função do volume de areia a ser utilizada.

do peso e tipo do cimento, do volume de pedras e do volume de água. Essa dosagem, porém, deverá ser experimentalmente ensaiada em corpos de prova antes de ser aplicada na obra.

Aços de protensão — O aço de alta resistência que tem sido usado em protendido tem 5, 7 e 8 mm de diâmetro e cordoalhas de 1/2". Suas tensões de escoamento devem ser de:

φ 5 mm CA-140/160 kg/mm²

CA-125/140 kg/mm²

φ 7 mm CA-125/140 kg/mm²

φ 8 mm CA-125/140 kg/mm²

Cordoalha CA-160/180 kg/mm²

As cordoalhas são constituídas por 7 fios de aço duro de alto limite elástico, tendo no centro um fio de 4,2 mm de diâmetro e fios periféricos de 4,1 mm de diâmetro.

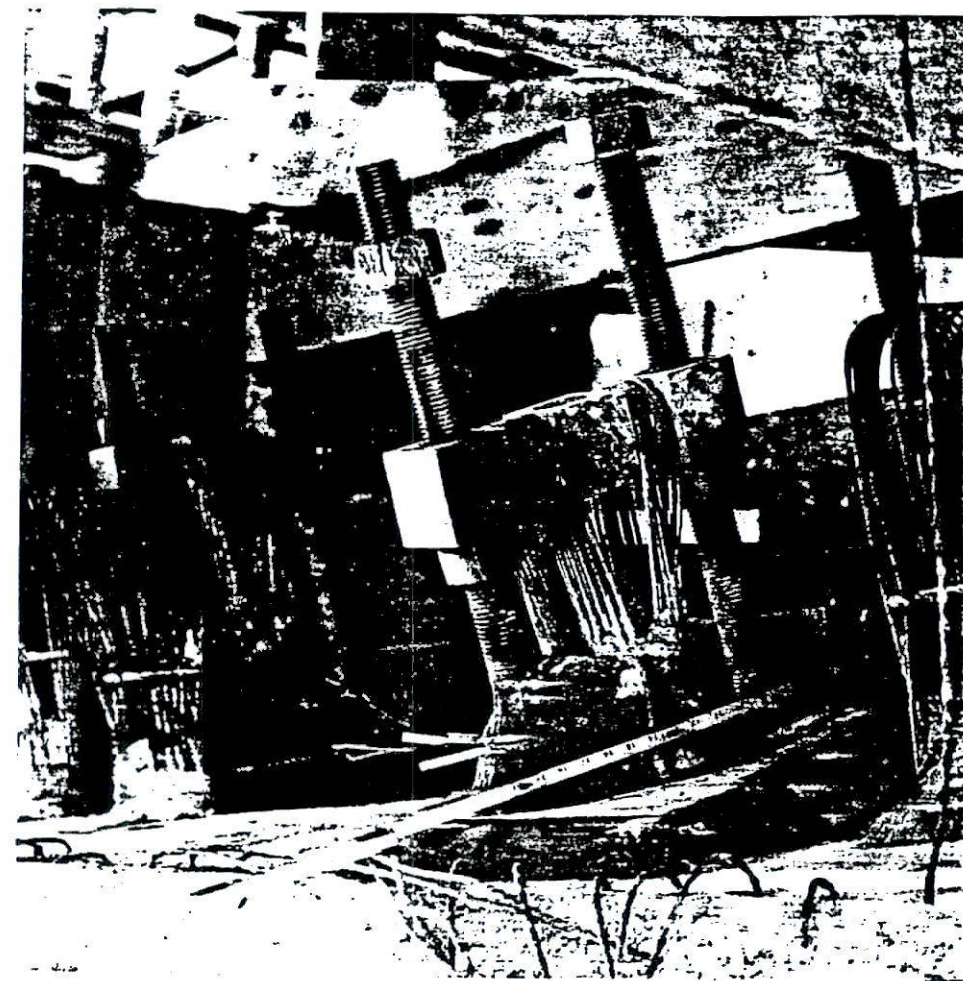
Em obras normais empregam-se cabos compostos por 12 fios que, em função do detalhamento do projeto, podem ser de 5, 7 ou 8 mm. Para se alcançar maior unidade de protensão a técnica vem substituindo o uso desses cabos por cordoalhas que devido à capacidade de resistência de 160 a 180 kg/mm² permitem elevadas tensões de protensão.

Esses dois tipos de aço são comumente utilizados pelos processos mais conhecidos de protensão no País. O processo Losinger, entretanto, emprega cabos com capacidade de 400 t, mas seu uso implica em equipamentos de protensão de maior carga e, portanto, mais pesados que os normais.

Os equipamentos — Para execução dos processos de protensão são necessários certos equipamentos especiais. Dentre eles destacam-se a bomba de alta pressão manual ou elétrica que trabalha em conjunto com o macaco de protensão. Essa bomba é composta de um conjunto de pistões de baixa e alta pressão, uma caixa de válvulas e um reservatório para água e óleo solúvel. Além desses elementos a bomba deverá possuir mangueira para saída de pressão, manômetro e chaves de controle.

Os macacos de protensão, com capacidades de 20, 40, 50 e 120 t compõem-se de cabeçote móvel que se encaixa na ancoragem fêmea, as cunhas que fixam os fios no corpo do macaco e a alça de suspensão.

Como funcionam — Inicialmente, com o macaco ainda fechado, coloca-se o cabeçote móvel entre o macaco e a



LAÇO DE PROTENSÃO, UMA SOLUÇÃO TÍPICA DO PROCESSO FERRAZ DE PROTENSÃO

ancoragem fêmea e fixa-se os fios, de 2 em 2, no macaco, por meio das cunhas. Executada a fixação dos fios, abre-se a torneira de pressão da bomba, iniciando-se a operação com o pistão de baixa pressão, até encher o cilindro do macaco e submete-se o cabo à tensão de 10 kg/cm².

Em seguida, passa-se para o pistão de alta pressão da bomba, atingindo-se a tensão desejada. A tensão ideal normalmente é indicada em tabelas de protensão que os projetistas calculam para cada projeto estrutural. A tabela indica a pressão que o manômetro deve acusar para um determinado alongamento do fio protendido. Se os valores obtidos não coincidirem com a tabela o trabalho deverá ser imediatamente paralisado para reexame de todos os elementos da operação desde as especificações dos cabos, sua fixação, até a correta colo-

cação do macaco e as condições reais do manômetro, pois algo de anormal estará ocorrendo e se não for sanado poderá provocar danos à peça.

O macaco tipo S-6 destina-se a por em tensão cabos de 12 φ 1/2" e difere dos de 12 φ 5 porque durante a operação de tensão a pressão se exerce sobre as duas superfícies: na tampa e na cabeça da haste vazada internamente. Esta disposição permite diminuir o tamanho e o peso do macaco.

A fixação das cordoalhas no macaco se faz por meio de ancoragens unitárias constituídas por cones cilíndricos colocados em alojamentos existentes na periferia do cilindro de pressão do macaco e de cunhas tripartidas reunidas por um anel.

Os macacos monofio servem para o tensionamento de fios e são utilizados em pistas de pré-moldagem protendida.



TEMOS LICENÇA PARA ARMAR OS EMPREENTEIROS ATÉ OS DENTES.



Este é o nome no Brasil das melhores peças do mundo para equipamentos de terraplenagem e escavação.

Somos licenciados da ESCO Portland, U.S.A para fabricar dentes, lâminas, cantos de lâmina, hastes, pontas de escarificadores e rippers.

Com a mesma qualidade e a mesma garantia ESCO.

E com, pelo menos, mais duas importantes vantagens:

- 1 - entrega mais rápida;
- 2 - preços muito mais baixos.



Fábrica de
ATO PAULISTA S.A.
S. Paulo - Av. Pres. Wilson 1716 - Tel.
63 9141 Telex 021512 - FILIAIS Rio - Tel.
221 7478 - B. Horizonte - Tel. 37 7395
e 37 8923 - Curitiba - Tel. 23 2605 e
22 4155 - Porto Alegre - Tel. 22 6926

O macaco para fazer botão é um equipamento hidráulico com capacidade de força de 21 600 kg através de uma garra de aço especial que comprime o aço fazendo uma cabeça de rebite ou botão.

A bomba injetora é basicamente um equipamento composto de um corpo onde se aloja o diafragma acionado por uma alavanca manual e uma caixa de válvulas com esferas de borracha que regulam a pressão de injeção.

Acabamento dos cabos — Após a protensão injeta-se a nata de cimento sob pressão, na relação de 1:1 na bainha metálica, não só para proteger o cabo contra a corrosão como também para conferir ao mesmo aderência ao concreto da peça.

Três dias depois de procedida a injeção pode-se cortar as pontas dos fios que finalmente devem ser protegidos com argamassa para um melhor acabamento da peça concretada e como proteção à ação de agentes externos.

Diferença pela aderência — Em casos considerados muito especiais, quando os esforços solicitantes são elevados, pode-se empregar a protensão sem aderência. Nessa, as bainhas metálicas são preenchidas por materiais especiais que protegem os fios contra o ataque de elementos agressivos, porém deixa-os isolados da estrutura do concreto. Esse sistema pode ser empregado para peças de grande porte em obras de barragem, por exemplo, quando se tem juntas de dilatação sofrendo grandes solicitações, havendo necessidade de se transferir parte desses esforços para os cabos de proteção sem permitir abertura muito grande nas juntas.

Nos casos em que as peças devam ser concretadas e protendidas no próprio canteiro de obras, a única opção viável, independente do processo que se usa, é fazer a protensão com aderência posterior. A razão é bem simples: é que para protender uma viga com aderência inicial precisa-se contar com pistas de protensão, com dispositivos especiais que permitam estender os fios nos limites especificados pelos cálculos, concretar a peça para depois soltá-los, seqüência essa praticamente impossível de ser observada num canteiro de obras. Por isso é que a peça concretada na obra recebe protensão com aderência posterior, porque nesse caso a própria peça servirá de apoio para a protensão.

Em usinas de pré-moldagem, por se contar com pistas de concretagem e blocos fixos de ancoragem, a protensão com aderência inicial.

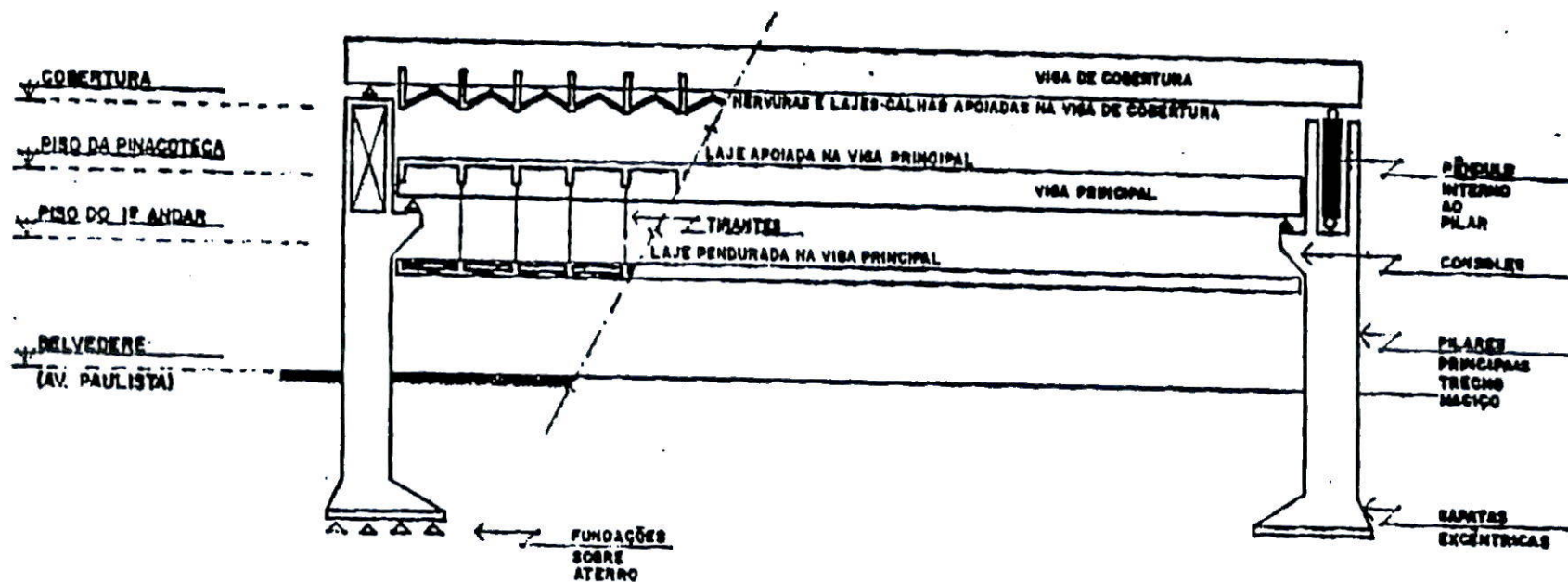
Maior resistência x menor peso

— A protensão proporciona maior resistência às cargas de trabalho e outras solicitações, com boa redução do peso próprio da peça.

A explicação dada pelos especialistas em protendido é que no concreto armado convencional o aço que compõe a armadura possui resistência menor que o aço de protensão, pois são empregados normalmente o CA-24, CA-50. Isso quer dizer que o limite de resistência à ruptura desses aços é comparativamente baixo, uma vez que nos processos de protensão são empregados aços especiais com resistência à ruptura sempre acima de 120 kg/mm².

Outro aspecto importante é que no concreto armado a capacidade da ferragem é totalmente aproveitada, pois os carregamentos são suportados pelo conjunto concreto/ferro, sendo que o ferro só passará a trabalhar com maior solicitação se aparecerem fissuras no concreto. Diz-se, inclusive, que o concreto armado é uma estrutura "morta". Já o aço protendido age de uma forma inversa, "viva", ou seja, ele exerce constante ação sobre o concreto, em sentido de reação às tensões provocadas pelos carregamentos normais ou acidentais. Nesse caso consegue-se um equilíbrio de forças antagônicas, porque os fios protendidos, desde que não ultrapassem seu limite de elasticidade e não se rompam, tendem a voltar ao estado inicial. Com isso exercem um constante esforço de compressão à massa do concreto, envolvendo, oferecendo, assim, uma resistência às cargas muitas vezes superior à que se alcançaria com uma peça concretada nas mesmas condições de volume, porém com a armadura frouxa.

Para que a protensão surta os efeitos desejados requer-se precauções especiais na zona de ancoragem. Assim, os cones devem ser devidamente fretados e na concretagem da peça nessa região não poderá conter vazios. Somente dentro dessa orientação e tendo-se em conta a resistência especificada no concreto é que será possível a perfeita transmissão da força de protensão à peça. Esse cuidado precisa ser tomado para evitar que o cone de ancoragem puncione ou fissure o concreto, anulando o efeito da protensão. ●



MA SP • ESQUEMA DA ESTRUTURA ISOSTÁTICA (NÃO PORTICADA, COMO APARENTA) 1969 A PROLÍ-200

ARQUITETURA DO CONCRETO PROTENDIDO

VISÕES ESTRUTURAIS

Os elementos de concreto protendido usados como estrutura em projetos arquitetônicos, apesar de muito semelhantes aos da construção em concreto armado comum, se diferenciam basicamente por três características, decorrentes do uso dessa tecnologia: a relação entre as dimensões das peças e os vãos vencidos; a maneira como se compõem estruturalmente os vários elementos portantes e, finalmente, os detalhes de desenho final intrínsecos das peças, devido à necessidade de se prever nichos em posicionamento adequado para receber as ancoragens e permitir a execução da protensão.

A primeira diferença diz respeito ao resultado estético da estrutura como um todo, função dos vãos que se consegue vencer. Ao propiciar dimensões menores para os elementos, o uso da protensão é capaz de reduzir as massas de concreto, fazendo com que as espessuras, alturas e larguras se tornem relativamente menores se comparadas com as distâncias entre apoios e limites das edificações.

Desta característica os arquitetos podem retirar o máximo de resultados plásticos da técnica, proporcionando ambientes mais livres e amplos, mudando a dimensão do espaço projetado. As formas de concreto se tornam também versáteis. Curvas, vãos e balanços arrojadados, coberturas diferenciadas e apoios especiais podem ser introduzidos nos projetos, com a certeza de que o cálculo estrutural dará uma resposta diante das opções oferecidas pela protensão.

Nova linguagem

As estruturas protendidas também colocam à disposição elementos que nem sempre estão no repertório dos projetos de edificações. Algumas junções estruturais entre lajes, vigas e pilares podem se transformar em parcelas importantes da forma final da edificação. Isso porque, muitas vezes, o uso da protensão implica a definição de peças independentes, apoiadas ou encaixadas umas sobre as

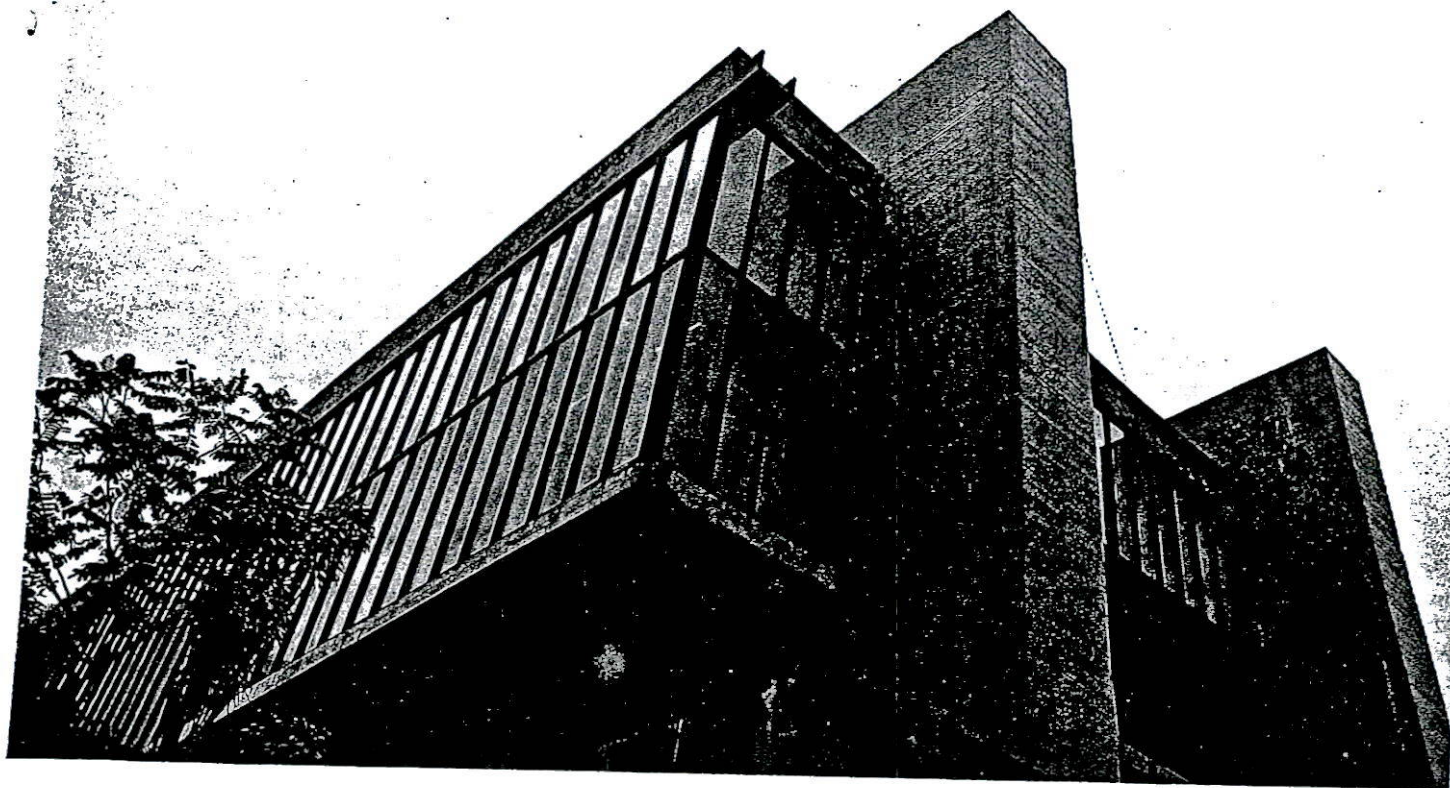
outras por aparelhos de apoio, pinos de posicionamento, tirantes metálicos e juntas de dilatação, em contraposição à interligação estrutural homogênea dos nós de engastamento contínuo, típicas do concreto armado convencional.

O caso das lajes planas protendidas para edifícios é exemplo de outro tipo de diferenciação. A mudança, nesses elementos, se dá na conceituação intrínseca das fôrmas e armaduras utilizadas, que precisam, muitas vezes, considerar a colocação de capitéis sub ou sobrepostos nas lajes, para que se atinjam os níveis de resistência adequados aos esforços de cisalhamento — devido aos maiores vãos — e de punção dos pilares sobre elas. Embora na maioria das vezes não sejam necessários, os capitéis ou as bases "engrossadas" das colunas de sustentação dos edifícios podem vir a ser mais uma oportunidade para a inclusão de tais elementos na arquitetura.

É importante notar que a protensão traz para os projetos uma linguagem que pertence a outros campos de atuação da engenharia de estruturas, pouco usuais nas edificações. Aparelhos de apoio, juntas de dilatação, apoios móveis, capitéis são elementos comuns em obras de viadutos, pontes e passarelas. Essa "expressão" transferida à arquitetura se deve principalmente aos "nós" estruturais, ao encontro dos elementos que compõem o esqueleto portante, em junções que "movimentam" as estruturas e desnudam para os observadores seu funcionamento teórico, apresentando os deslocamentos horizontais, rotações e outros comportamentos a que as peças estão sujeitas.

Trata-se, portanto, de uma situação privilegiada para os que se interessam em "enxergar" as estruturas, se comparada ao lugar-comum das estruturas monolíticas de pilares-vigas. Analisado sob esse aspecto, o uso da protensão pode sugerir que esses "adornos" estruturais (aparelhos de apoio, juntas de dilatação, pinos de ligação etc.) se tornem elementos complementares ao repertório de quem projeta ou observa a arquitetura.

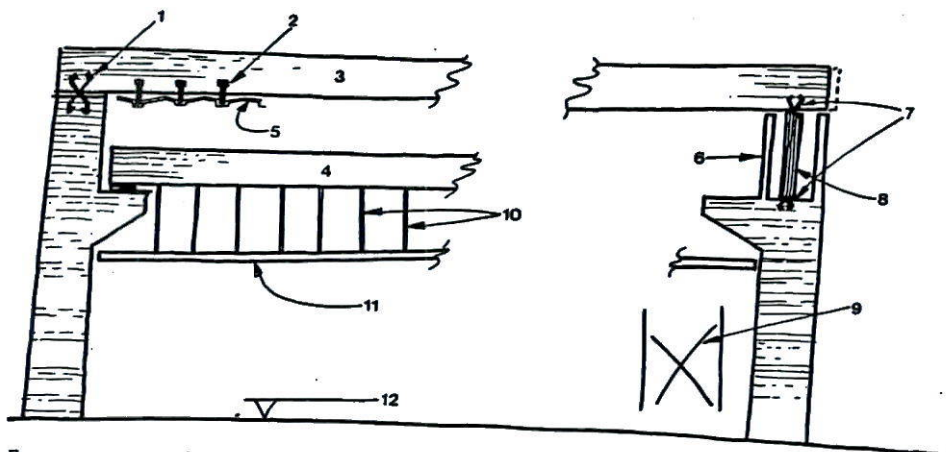
RUBENS DE ALMEIDA



São os pré-fabricados de concreto e as estruturas pré-moldadas, em geral, que melhor representam essa característica. Normalmente concebidas em peças isoladas que se complementam em ligações de montagem nas obras, as estruturas pré-fabricadas aproveitam-se da protensão para minimizar as dificuldades de transporte e geram peças de grande porte: leves, suficientes para que possam ser manipuladas no canteiro. Descarregadas as carretas, compõem-se como jogos de montar, podendo ser içadas por vários pontos, sem que se comprometa o desempenho estrutural final.

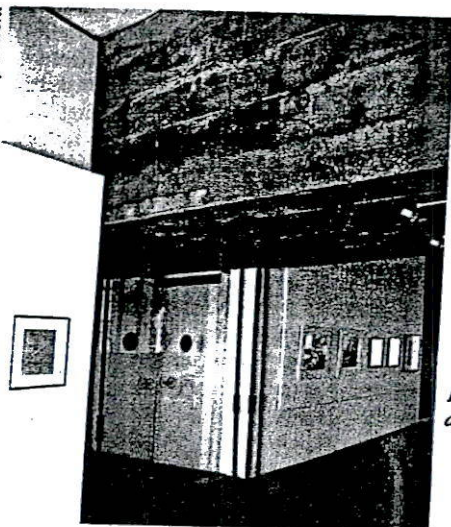
A simples justaposição, montagem e fixação das peças, a partir da utilização de meios de posicionamento e juntas secas, com que os elementos protendidos pré-moldados se comportem nas edificações, sempre, como elementos isostáticos. A não ser no caso das lajes, que recebem algum tipo de continuidade estrutural no próprio canteiro de obras de modo de ser lançadas em módulos pré-fabricados.

Mas há obras executadas de forma convencional (fôrma e escoramento), que se utilizam do mesmo recurso da independência estrutural dos elementos. Novamente o exemplo didático é o Museu de Escultura de São Paulo: seu aparelho de apoio de neoprene, que confere à vigas a característica de liberdade de vibração e deslocamento horizontal, é bas-



Esquema estrutural do MASP. Um pêndulo de concreto possibilita os movimentos da dilatação térmica

Foto: Wanderley Bailoni

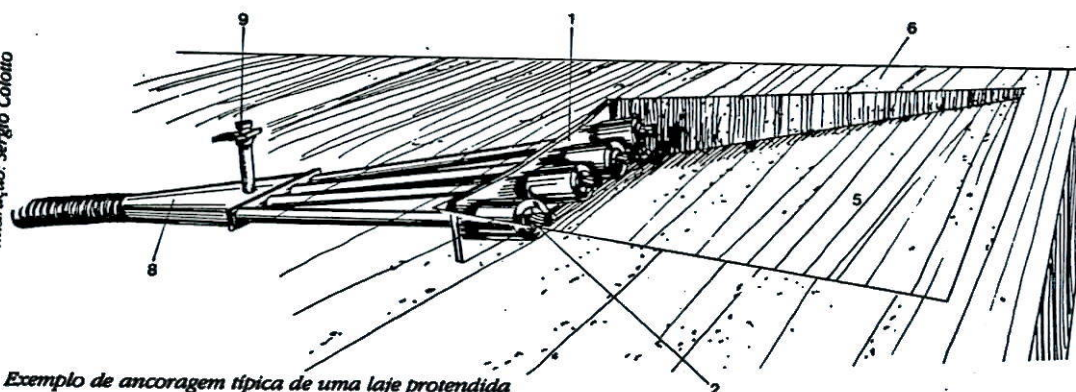


Detalhe do pendural que sustenta as lajes de piso do museu

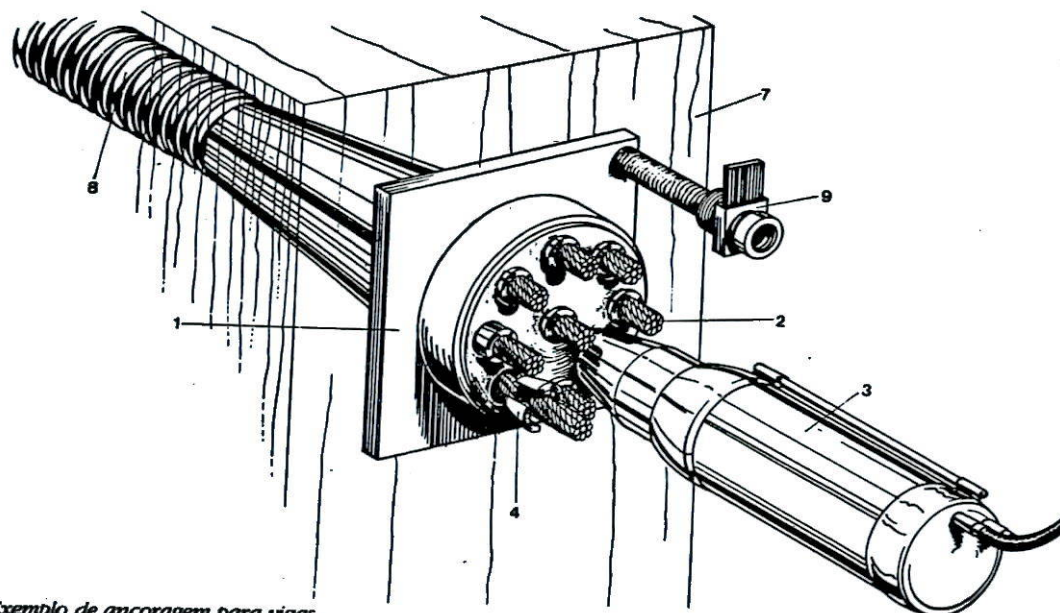
1. Articulação fixa
2. Vigas de concreto armado
3. Viga protendida 2
4. Viga protendida 1
5. Casca de concreto armado da cobertura
6. Casca de concreto armado
7. Articulações fixas de concreto

8. Pêndulo de concreto
9. Caixa de elevador e escadas
10. Tirantes de aço
11. Laje concreto armado suportada pela viga 1
12. Piso Paulista

Ilustração: Sérgio Colotto

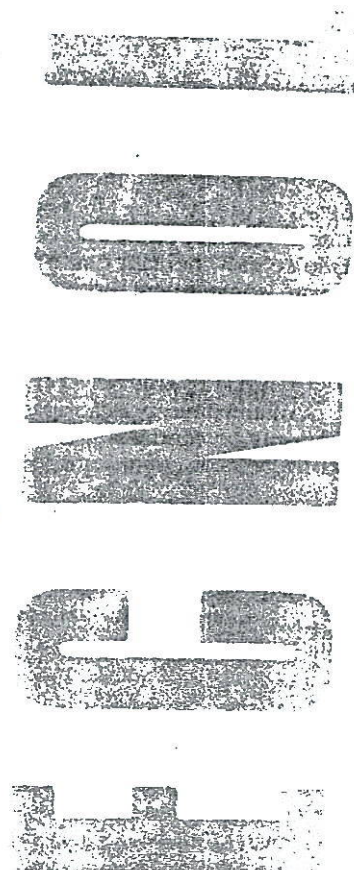


Exemplo de ancoragem típica de uma laje protendida



Exemplo de ancoragem para vigas

1. Ancoragem
2. Cordoalha
3. Macaco
4. Cunbas
5. Nicbo
6. Laje
7. Viga
8. Bainha
9. Injeção da calda de cimento



O CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA NO "EDIFÍCIO TRIANON"

ENG.º ALOYSIO A. D'ANDREA PINTO

ENG.º ROBERTO CARVALHO ROCHLITZ

1. Introdução

A execução da obra do Edifício Trianon exigiu o emprego de concreto de alta resistência por imposição do projeto estrutural. Devido à pouca difusão desse tipo de concreto no Brasil houve necessidade de pesquisas acuradas para sua aplicação. Serão a seguir expostos os estudos efetuados para a determinação da dosagem desse concreto, os trabalhos para sua realização no canteiro da obra e um relato dos resultados obtidos.

2. Características da obra

O Edifício Trianon é constituído por três partes: a primeira, abaixo do nível da Av. Paulista, se compõe de dois pavimentos, com amplos salões, com área de cinco mil metros quadrados aproximadamente; a segunda, ao nível da Av. Paulista, compreende o grande belvedere; a terceira, situada oito metros acima da Av. Paulista, com dois pavimentos, consta de um bloco de 70 metros de comprimento, 30 de largura e 14 de altura (figuras 1 e 2).

Os pavimentos superiores têm área de 2.100 m² cada e são suportados, juntamente com a cobertura, por apenas quatro pilares. As cargas dos pisos e da cobertura são levadas a êsses pilares, por intermédio de quatro vigas principais, protendidas, de 74 metros de vão livre, e seção conforme mostrada na figura 3. Nessa figura são mostradas as posições dos cabos de 5,5 cm de diâmetro com 40 fios de 5 mm cada. Para a execução dessas vigas são empregados cerca de 1.000 m³ de concreto de alta resistência.

3. Características do concreto

A fim de atender às imposições dos projetos de estrutura e de arquitetura o concreto deveria apresentar as seguintes características:

- a) Alta resistência à compressão: a tensão mínima de ruptura especificada foi de 450 kg/cm² aos 28 dias, ou seja, valor cerca de três vezes superior ao usado em obras comuns.
- b) Plasticidade tal que permitisse a sua completa penetração em toda a seção da viga.
- c) Diâmetro máximo do agregado graúdo compatível com o espaçamento dos cabos e barras da armadura.

tante visível para os visitantes e responsável pela característica isostática da viga protendida simplesmente apoiada. Outro exemplo marcante desse tipo de união estrutural diferente, não monolítico, que permite movimentos entre elementos independentes, é o prédio do Masp. As lajes dos andares do museu são penduradas por tirantes nas vigas superiores protendidas, hoje pintadas de vermelho.

Os motivos para essa "linguagem" que o protendido utiliza, ou seja, de elementos independentes unidos por outros que acabam por favorecer movimentos nas peças, não correspondem, necessariamente, a uma definição da arquitetura. Eles se devem, basicamente, às grandes dimensões longitudinais, características das peças protendidas, que impõem maior atenção aos deslocamentos estruturais determinados pela variação térmica, por exemplo.

Apenas para se ter uma idéia do que significa a influência da temperatura sobre uma peça de concreto de grandes dimensões, vale citar mais uma vez a estrutura do Masp, cuja extensão maior chega a 70 metros. Ela se dilata e se contrai cerca de 0,07 cm a cada grau de variação de temperatura do ar da região onde se encontra. Se considerarmos que a cidade de São Paulo possui uma amplitude média de variação de temperatura de cerca de 10°C ao dia, chega-se à conclusão de que as vigas superiores do pórtico articulado se movimentam quase 1 cm diariamente, somente em função do clima.

Bainhas e ancoragens

A última diferenciação aparente das estruturas protendidas, se comparada às convencionais, nem sempre se torna ob-

servável depois da entrega das obras. São alguns detalhes que a técnica da protensão exige para que possam se processar as operações de lançamentos dos cabos ou cordoalhas, seu tracionamento (protensão) e fixação final junto da estrutura.

Nas peças protendidas pré-fabricadas, geralmente moldadas em "pistas de protensão", esse problema não existe. No caso, os fios e cabos de aço são tracionados antes mesmo de o concreto ser lançado na fôrma. Depois da concretagem e cura das peças, os fios e cabos protendidos simplesmente são cortados de suas ancoragens provisórias (fixadas na pista de protensão) e, por aderência, transmitem ao concreto a tentativa de o aço esticado retornar ao estado inicial. Como a massa de concreto o impede, esta acaba sofrendo o esforço de compressão contínua ao longo de toda a sua extensão. Esta forma de protender peças, conhecida como protensão com pré-aderência, é mais comum nas usinas de pré-moldados do que em obras executadas convencionalmente.

A contraposição ao modelo da pré-aderência ocorre quando uma estrutura é moldada e concretada no local de execução (modo convencional). Aqui, torna-se impossível tracionar os cabos antes de a estrutura existir, pois não há nas obras suportes suficientemente rígidos para absorver os esforços de protensão dos cabos. Nesses casos, faz-se primeiro a moldagem da massa de concreto que, depois de endurecida, é usada como suporte de sua protensão. Para que isso se torne possível, utiliza-se um ferramental adicional. Na armadura dos elementos estruturais, além da ferragem convencional, são posicionadas bainhas metálicas por onde deverão passar livremente as cordoalhas previstas pelo calculista.

Depois de concretada, ainda escorada, a peça será submetida à operação de protensão. A primeira providência consiste no lançamento dos cabos de aço (cordoalhas) por dentro das bainhas metálicas. Depois, nos nichos previstos pelo projeto e moldados durante a concretagem, são instalados sistemas de macaqueamento e de fixação final dos cabos, conhecidos como ancoragens. Há dois tipos básicos: a chamada ancoragem passiva — que não permite o processo de tracionamento da cordoalha, mas apenas sua fixação; e as ativas, que se compõem de suportes para posicionamento dos macacos hidráulicos e cunhas de pressão para evitar que os cabos voltem a seu estado inicial e percam a capacidade de protender o concreto.

Com o início do trabalho de protensão, o macaco hidráulico começa a puxar as cordoalhas, uma a uma, até que elas apre-

sentem o alongamento determinado pelo calculista. O estado de alongamento do cabo de aço corresponde a uma tensão de tracionamento, nominalmente vinculada à capacidade do aço utilizado (no Brasil são produzidos aços de protensão com capacidade de até 19 mil kgf/cm²). Nesse momento, encaixam-se as cunhas, que fixam definitivamente o cabo na posição "esticada". É o sistema de ancoragem, então, que nesse instante aplica a protensão na peça.

Após serem executadas todas as protensões (em todos os cabos previstos pelo calculista), iniciam-se os trabalhos para dar aderência contínua das cordoalhas na peça de concreto. Até esse momento, os cabos estão livres dentro das bainhas metálicas. Começa, então, o processo de injeção de calda de cimento por dentro da bainha, que possui "respiros" em determinadas posições para identificar seu perfeito preenchimento. Com o endurecimento dessa calda de cimento, considera-se que as cordoalhas estão fixas em toda a extensão da peça de concreto. A esse tipo de procedimento dá-se o nome de protensão com aderência posterior.

A partir desse princípio básico de execução, as empresas que fornecem serviços de protensão acabaram desenvolvendo uma série de equipamentos adequados à produção de protensões nos mais diversos tipos de elementos estruturais. Os sistemas de ancoragem — em geral são peças que se encaixam às estruturas e posteriormente à execução da protensão — podem ser recobertos e protegidos por argamassa ou qualquer outro sistema de vedação. Para protensão em elementos mais estreitos, como lajes e algumas vigas, desenvolveram-se bainhas achatadas, ancoragens e sistemas de macacos hidráulicos especiais, mais finos, que têm favorecido a ampliação das alternativas construtivas com a tecnologia do protendido.

A última novidade do setor é a introdução de bainhas não metálicas e o material mais utilizado é o polietileno, um plástico flexível com boa resistência, que garante um desempenho semelhante às bainhas metálicas, com a vantagem de nunca apresentar corrosão. Em algumas obras da Europa e dos Estados Unidos, começam a surgir sistemas de protensão que se utilizam de cabos engraxados por dentro das bainhas plásticas, eliminando a necessidade de se preencher posteriormente com calda de cimento. Os cabos engraxados são substituíveis a qualquer tempo e deverão ampliar ainda mais os horizontes da protensão nas edificações, embora no Brasil ainda haja certa resistência à sua utilização em escala. ■

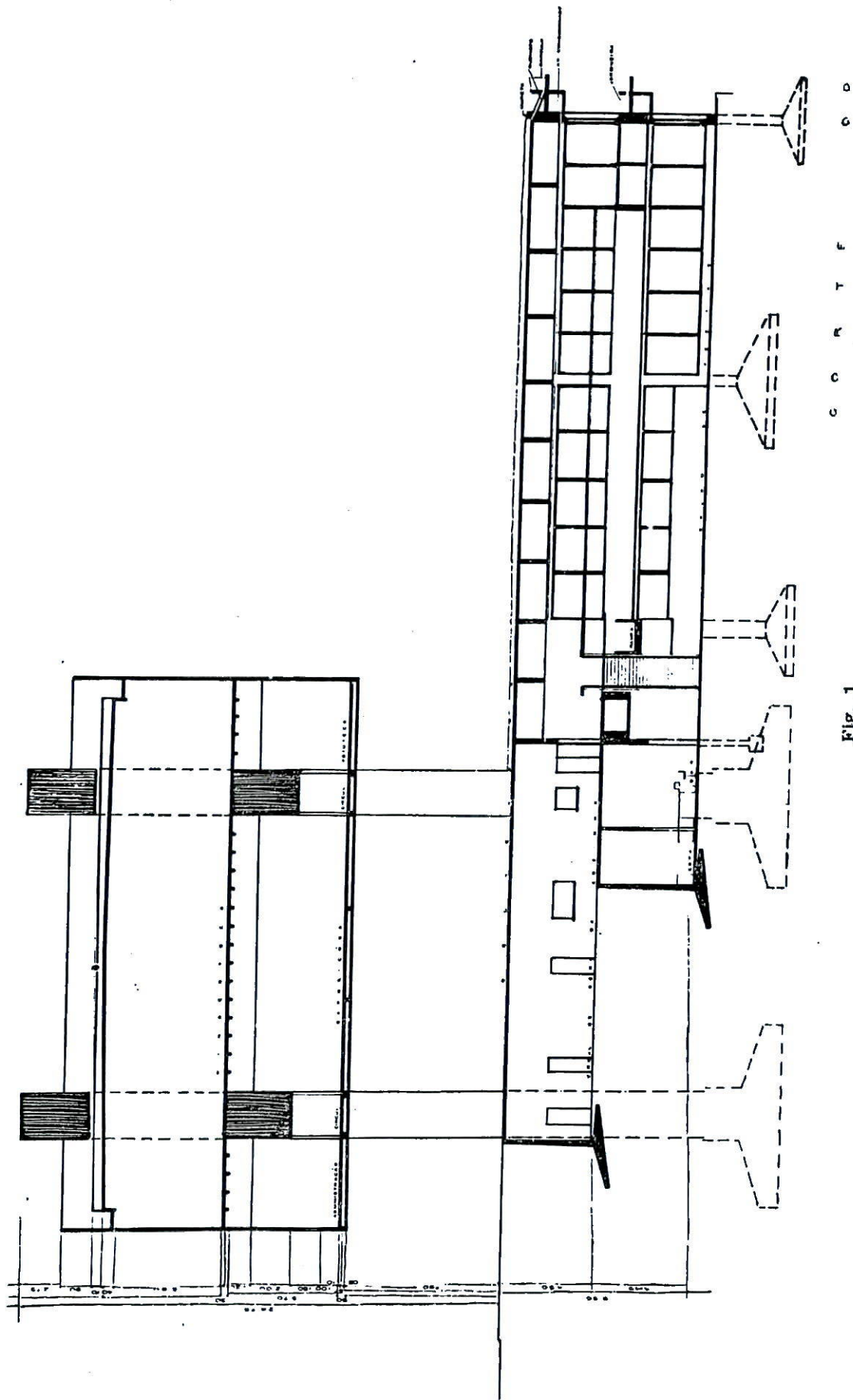
A seção Arquitetura do Concreto Protendido conta com o apoio cultural da



Companhia Siderúrgica
Belgo-Mineira

Av. Higienópolis, 720
CEP 01238-907 - São Paulo, SP
Fones: (011) 823-9432/9456/9482





C O R R E C T I O N

Fig. 1

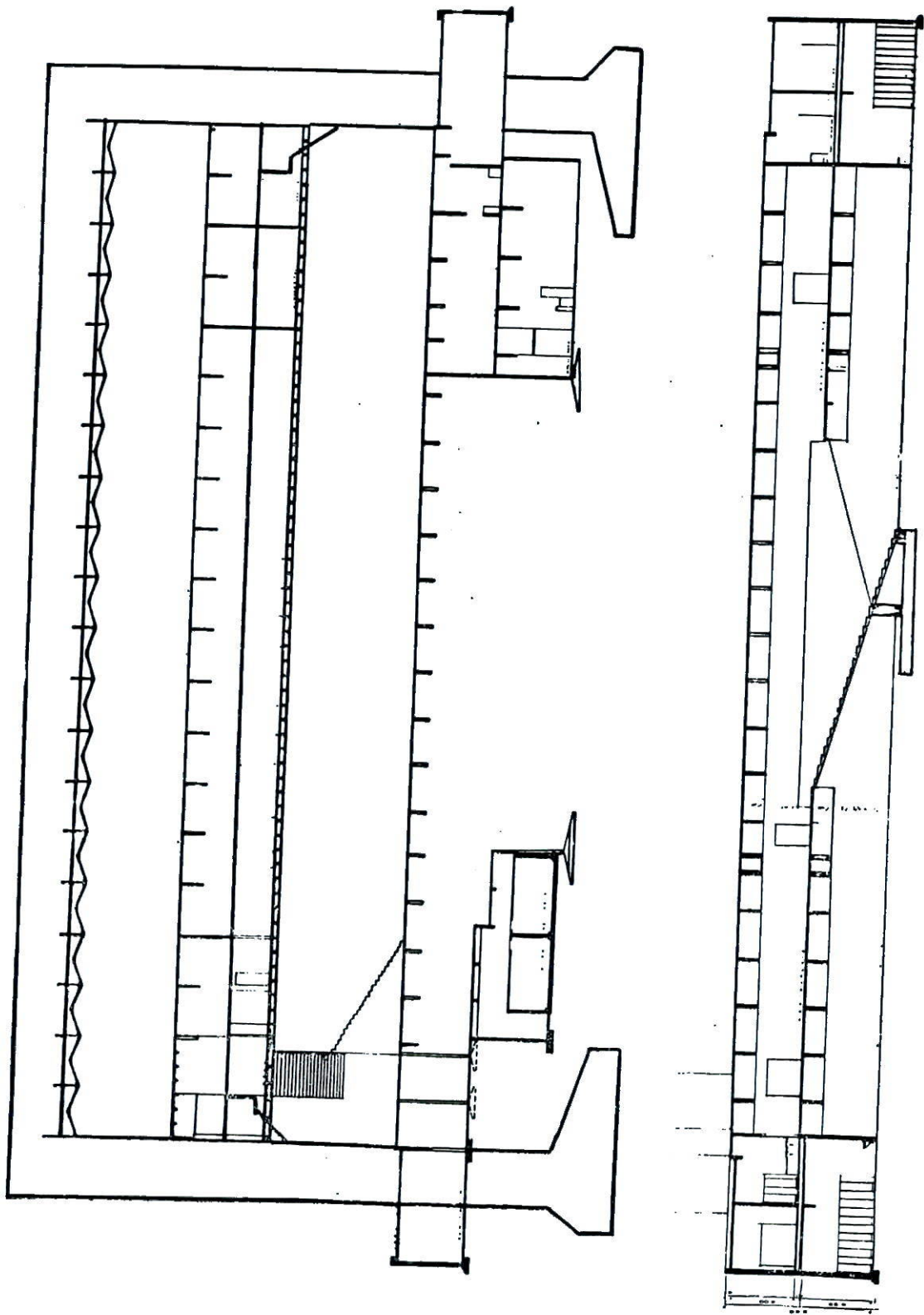


Fig. 2

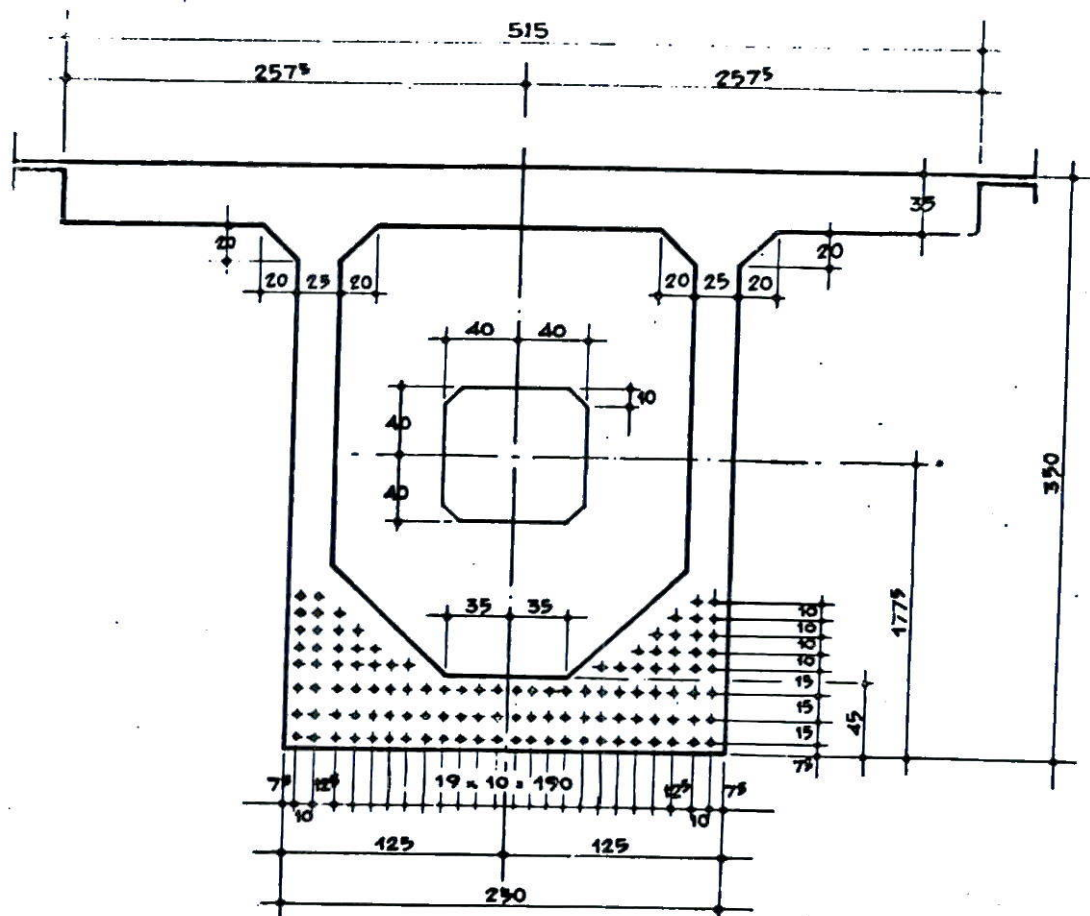


Fig. 3

- d) Elevação da temperatura no concreto, durante o processo de hidratação do cimento, pouco acentuada a fim de não se produzirem trincas térmicas.
- e) Retração a mais baixa possível compatível com o consumo de cimento.
- f) Textura conveniente à condição de concreto aparente imposta pelo projeto arquitetônico.

Além dos requisitos anteriormente enumerados, êsse concreto, a ser produzido em escala industrial, deveria ser economicamente exequível e durável.

A primeira condição a que o concreto deveria atender era a sua alta tensão mínima de ruptura. Isto pôde ser obtido aumentando-se a resistência à compressão e diminuindo-se o seu coeficiente de variação.

O aumento da tensão de ruptura à compressão, foi obtido por uma seleção rigorosa dos materiais a serem utilizados, tanto do ponto de vista de suas qualidades, com de sua natureza. A partir desses materiais foram tentadas dosagens criteriosas com o objetivo de se obter as elevadas resistências procuradas; atendendo as particularidades de execução da obra.

A diminuição do coeficiente de variação foi conseguida melhorando-se os processos de execução da mistura no canteiro, tendo-se em vista que diminutas variações da relação água-cimento e da quantidade dos agregados, afetavam sensivelmente a resistência à compressão do concreto, aumentavam a dispersão dos resultados obtidos dificultando, assim, sôbremaneira, o contrôlo da execução.

O concreto obtido, devido à sua baixa relação água-cimento, era pouco plástico, o que exigiu, a fim de se manter as características propostas inicialmente, a aplicação de vigorosa vibração para perfeita moldagem das partes pouco acessíveis das vigas e aumento da sua compacidade.

Objetivando ainda o aumento da compacidade foi aplicada ao concreto uma pervibração três horas após ao seu lançamento.

O acentuado aumento da temperatura devido à libertação do calor de hidratação, nesse concreto de elevado consumo de cimento, foi atenuado pela utilização de aditivo adequado e tirando-se partido da presença dos cabos de protensão que funcionaram como tiradores de calor.

Um processo de cura bem estudado e adequadamente executado contribuiu para a diminuição da retração, que é geralmente de valôr elevado em concretos de tal consumo e em vigas de tais dimensões.

A textura do concreto requerida foi consequência dos materiais empregados e do tratamento especial dado aos moldes.

4. Materiais

Foi feito amplo estudo prévio dos materiais economicamente disponíveis com o objetivo de, com êles, se obter o concreto procurado.

a) *Cimento* — O cimento Portland eleito foi o que na praça de São Paulo apresentou maiores resistências à compressão e menor variação nos ensaios normais executados nos últimos seis meses que antecederam à determinação da dosagem do concreto.

A sua composição média aproximada revelada pela análise química é:

	Perda ao fogo	1,23%
	SiO ₂	20,66%
	Al ₂ O ₃	5,19%
	Fe ₂ O ₃	2,94%
	CaO	62,11%
	MgO	4,95%
	SO ₃	2,31%
	Insolúveis	0,16%
	CaO Livre	0,29%
e	C ₃ S	47,65%
	C ₂ S	23,75%
	C ₃ A	8,90%
	C ₄ AF	9,00%

Características médias obtidas em ensaios normais:

Finura: Resíduo na peneira normal de 0,075 mm = 12%.

Início da pega: 2 horas 30 minutos.

Quantidade de água para obter a pasta de consistência normal: 26%.

Expansão a quente: 0,6 mm.

Resistência a compressão (tensão de ruptura em kg/cm²).

Argamassa normal plástica obtida com 0,500 ml de água por g de cimento.

Corpo de prova	Idade		
	7 dias	3 dias	28 dias
1	200	280	387
2	208	275	358
3	199	293	357
4	199	278	381
5	201	285	383
6	207	280	387
Média	202	282	376

b) *Agregados* — Os agregados miúdo e graúdo foram selecionados entre as fontes que, nos arredores de São Paulo, e sob razoáveis condições econômicas fôssem capazes de fornecer um produto de qualidades compatíveis com o que se desejaria executar, uniforme, e nas quantidades necessárias às exigências da obra.

As características médias apresentadas pelos agregados são as seguintes:

Agregado fino:

Módulo de finura: 2,64

Diâmetro máximo: 2,4 mm

Composição granulométrica:

Peneiras
(Abertura em mm)

Material retido
Percentagens em peso

	Retidas	Acumuladas
4,8	1	1
2,4	4	5
1,2	16	21
0,6	32	53
0,3	33	86
0,15	12	98
0,15	2	—

Agregado graúdo:

Módulo de finura: 6,14

Diâmetro máximo: 19 mm

Composição granulométrica:

Peneiras (Abertura em mm)	Retidas	Material retido
		Percentagens em peso Acumuladas
9,5	28	28
4,8	59	87
2,4	12	99
1,2	1	100
0,6	—	100
0,3	—	100
0,15	—	100
0,15	—	—

c) *Aditivos* — Foi escolhido um aditivo que apresentasse as seguintes propriedades:

1) Diminuição do fator água-cimento sem prejuízo da plasticidade do concreto.

2) Retardamento da pega a fim de:

a) Permitir a pervibração do concreto 3 horas após o lançamento.

b) Facilitar a aplicação de grandes volumes de concreto.

c) Reduzir a temperatura durante o processo de hidratação.

d) Diminuir a retração.

3) Melhoria da compacidade do concreto.

4) Inocuidade às armaduras e cabos de protensão.

d) *Água* — Foi empregada a água do abastecimento da cidade, por não apresentar fatores que alterassem as características de alta resistência do concreto. O emprêgo de outra água qualquer seria economicamente impraticável.

e) *Outros materiais* — Não foram utilizados outros materiais, tais como cimento especial, cimento desfloculado, cinzas volantes, adesivos especiais, porque a resistência proposta no projeto foi obtida economicamente a partir dos materiais anteriormente relacionados.

5. Dosagem

Com os materiais selecionados foram feitas dosagens experimentais com o objetivo de obter o concreto que apresentasse as características impostas pelos projetos, pois, segundo os estudiosos dos concretos de alta resistência, e entre eles MacIntosh, "a elevada resistência não depende apenas do fator água-cimento, mas varia consideravelmente com a riqueza da mistura e com os tipos de agregados. Como as propriedades dos materiais têm efeito importante, as proporções desejáveis da mistura não podem ser estimadas a partir de dados obtidos anteriormente, mas devem ser feitas misturas experimentais".

Das dosagens experimentais resultou o traço

1 : 0,66 : 2,34

que apresenta as seguintes características:

Módulo do agregado	5,37
Traço em peso cimento: agregado	1:3,00
Cimento	1,00
Areia	0,66
Brita n.º 1	2,34
Aditivo	0,0025
Relação água/cimento	0,321
Consumo de cimento:	565 kg/m³ de concreto

6. Lançamento e cura

A mistura foi processada em betoneiras de eixo horizontal, fixo. Os materiais foram dosados em peso. O controle da umidade dos agregados era feito a cada 2 horas, por meio do frasco de Chapman.

Da betoneira o concreto era transportado por elevador e carrinhos de rodas com pneus até o local de lançamento. Este era feito com as necessárias precauções, com objetivo de evitar a segregação do agregado graúdo.

Dadas as características das vigas, a concretagem obedeceu a um plano pré-estabelecido, que visava garantir um melhor trabalho da peça, do ponto de vista de tensões internas. A moldagem foi feita em oito etapas.

O adensamento era produzido por meio de vibradores elétricos de imersão (diâmetro da agulha — 45 mm e 10.000 vibrações por minuto) e vibradores de parede (vibração: 10.000 ciclos por minuto). A pervibração era feita após 3 horas por meio de vibradores de parede, que acentuava ainda mais o adensamento produzido pela vibração inicial, provocando ainda libertação de partículas de ar que se encontravam na massa de concreto. Esta aplicação mostrou aumentar a resistência do concreto de maneira considerável.

As condições de cura foram mantidas uniformemente durante 28 dias mantendo-se os moldes, anteriormente tratados para este fim, e as superfícies superiores permanentemente úmidas.

7. Resultados

Os resultados dos ensaios à compressão em corpos de prova cilíndricos de $\varnothing$ 15 cm e $h = 30$ cm com a idade de 7 e 28 dias são relacionados nas tabelas I e II.

Por essas tabelas verifica-se:

Tensão média de ruptura à compressão aos 7 dias 456 kg/cm².

Tensão média de ruptura à compressão aos 28 dias: 563 kg/cm².

Coeficiente de variação: 10,9%.

Coeficiente de variação dentro do ensaio: 5,3%.

Tensão mínima de ruptura aos 7 dias: 365 kg/cm².

Tensão mínima de ruptura aos 28 dias: 450,4 kg/cm².

Para verificação dos resultados acima foram moldadas vigas de concreto de 0,25 x 0,35 x 1,00 m nas mesmas condições de moldagem das vigas protendidas, de onde foram extraídos corpos de prova cilíndricos de acordo com a ASTM Designation: C42-64.

Esses corpos de prova depois de mantidos imersos em água durante 48 horas, foram rompidos à compressão apresentando os seguintes resultados:

C/P	Dimensões do C/P Alt.	médias Diâm.	H/D	Tensão de ruptura obtida diretamente do ensaio
1	269	152	1,77	554
2	277	152	1,82	551
3	267	152	1,76	556
4	270	152	1,78	564
5	302	151	2,00	503
6	308	151	2,04	525
7	310	152	2,04	540
8	310	152	2,04	573
9	313	152	2,06	492
10	311	153	2,03	484
11	306	152	2,01	501
12	280	152	1,84	501
13	308	152	2,03	529
14	305	153	1,99	550
15	308	152	2,03	569
16	310	152	2,04	573

Não foram verificadas trincas térmicas nem de retração.

A textura resultante da superfície do concreto e a ausência de ninhos, mostrou o acerto dos cuidados tomados.

8. Conclusão

Com o incremento da utilização do concreto protendido, cada vez mais se faz necessário o emprego do concreto de alta resistência, pois nestes casos, o aproveitamento do concreto em toda a seção da peça, ao contrário das seções de concreto armado, onde as zonas de tração podem chegar a

ser de 50 a 60% da seção, se traduz por uma vantagem econômica. Isto porque com meios adequados de execução a resistência do concreto aumenta mais rapidamente que seu preço unitário.

Conclui-se portanto que a partir de materiais escolhidos entre os comumente encontrados na praça, por meio de dosagens convenientemente estudadas e de aplicação racionalmente executadas, se podem obter concretos de resistências bem mais elevadas do que as comumente obtidas nas obras normais.

TABELA I — Resultados dos ensaios de resistência à compressão a 7 dias

Amostra N.º	Tensão de ruptura à compressão do corpo de prova (kg/cm²) (X)	Quadro de tensão de ruptura (X2)	Amplitude (kg/cm²) (A)
1	317	100.489	22
	335	112.225	
	339	114.921	
2	483	233.289	24
	476	226.576	
	459	210.681	
3	458	209.764	14
	465	216.225	
	451	203.401	
4	466	217.156	16
	450	202.500	
	458	209.764	
5	399	159.201	37
	434	188.356	
	436	190.096	
6	473	223.729	18
	476	226.576	
	458	209.764	
7	462	213.444	21
	483	233.289	
	467	218.089	
8	465	216.225	64
	516	266.256	
	529	279.841	
9	421	177.241	3
	423	178.929	
	424	179.776	
10	580	336.400	14
	566	320.356	
	578	334.084	
11	455	207.025	25
	480	230.400	
	470	220.900	
12	454	206.116	32
	434	188.356	
	422	178.084	
13	455	207.025	11
	452	204.304	
	463	214.369	
14	467	218.089	15
	481	231.361	
	482	232.324	
15	477	227.529	14
	471	221.841	
	485	235.225	
16	402	161.604	18
	389	151.321	

TABELA II — Resultados dos ensaios de resistência à compressão a 28 dias

Amostra N.º	Tensão de ruptura à compressão do corpo de prova (kg/cm²) (X)	Quadro de tensão de ruptura (X2)	Amplitude (kg/cm²) (A)
101	402	161.604	82
	472	222.784	
	484	234.256	
102	617	380.689	15
	611	373.321	
	626	391.876	
103	531	281.961	74
	569	323.761	
	495	245.025	
104	581	337.561	52
	529	279.841	
	552	304.004	
105	550	302.500	44
	515	265.225	
	559	312.481	
106	556	309.136	37
	519	269.361	
	552	304.704	
107	521	274.441	86
	538	289.444	
	607	368.449	
108	585	342.225	102
	611	373.321	
	509	259.081	
109	437	190.969	74
	470	220.900	
	511	261.121	
110	688	473.344	31
	671	450.241	
	657	431.649	
111	585	342.225	36
	621	385.641	
	617	380.689	
112	579	335.241	7
	576	331.776	
	583	339.889	
113	611	373.321	58
	596	355.216	
	654	427.716	
114	623	388.129	39
	605	366.025	
	584	341.056	
115	597	356.409	67
	534	285.156	
	601	361.201	
116	509	259.081	6
	515	265.222	
	512	262.144	

O Efeito do Vento

Em face do que já se expôs, o efeito das ações horizontais constitui a parte mais importante do projeto. A diminuição do inter-eixo na altura do solo, constitui um fator agravante no dimensionamento, decisivo na escolha do alargamento da base dos tubulões. A tensão máxima no solo não devia ultrapassar 0,75 MPa (7,5 kgf/cm²) com solicitação concomitante de ações verticais e horizontais, enquanto que apenas com ações verticais essa tensão não passava de 0,4 MPa (4 kgf/cm²). Assim sendo, era muito importante reduzir a intensidade das forças axiais de tração (ou de compressão) causadas pela ação do vento nos pilares dos pórticos transversais de contraventamento. Isto foi conseguido através da consideração do efeito das vigas longitudinais, com conseqüente redução daquele valor de ± 6000 kN (± 600 tf) para ± 4000 kN (± 400 tf). A análise tridimensional da estrutura foi efetuada pela técnica do meio elástico contínuo, o que levou à resolução de uma equação diferencial de

1ª ordem, completa, com coeficientes constantes, conseguindo-se a determinação dos esforços e deslocamentos em toda a estrutura. Nesta época (1966) o uso de computadores estava no início em nosso país, existindo tão somente alguns programas de resolução de pórticos planos. O método de análise da estrutura do Edifício San Siro foi generalizado visando resolver outras estruturas semelhantes com dois eixos de simetria; foi elaborado um programa em linguagem FORTRAN I para o cálculo dos coeficientes da equação diferencial e para a determinação numérica dos esforços e deslocamentos em todos os andares. Foram levados em conta os seguintes fatores:

- deformação axial dos pilares
- presença de nós rígidos de dimensões não desprezíveis
- efeitos de 1ª ordem ($\sim 3\%$).

O deslocamento máximo do topo do edifício é de 15 cm, valor compatível com a altura deste^(*).

(*) Depois de terminada a revisão da composição, o autor recebeu do engenheiro Mario Franco as seguintes informações que havia solicitado: momento total de tombamento do prédio

$$M_I = 106 \text{ MN (10.600 tf.m, 1ª ordem)}$$

$$M_{II} = 110 \text{ MN (11.000 tf.m, 2ª ordem)}$$

O acréscimo de momento devido ao efeito de 2ª ordem é de apenas 3,5% e portanto desprezível. Isto pode ser previsto através do cálculo do coeficiente de instabilidade α . O cálculo exato deste coeficiente, levando em consideração o efeito das ligações rígidas viga-pilar, fornece o valor 0,52 que é inferior ao limite 0,6 a partir do qual o efeito de 2ª ordem deve ser computado. Um cálculo simplificado de α , sem considerar as rigidezes dos nós, forneceria o valor absurdo de 4,00. Neste caso seria impossível equilibrar a estrutura apenas com reforços dos pilares.

O MUSEU DE ARTE DE SÃO PAULO

A construção da nova sede do Museu de Arte de São Paulo, para abrigar o acervo que se encontrava no Edifício dos Diários Associados, constituiu uma odisséia tumultuada por vários acontecimentos sociais e políticos que cancelaram, modificaram, paralisaram e finalmente permitiram sua conclusão.

A idéia veio de longe. Inicialmente pensou-se em fazer um museu na orla marítima, tendo sido escolhida a cidade de São Vicente pelo fato de ter sido uma das primeiras cidades do Brasil. Chegou-se a terminar um projeto em 1951, baseado numa série de pórticos de concreto protendido com 25 m de vão. A obra entretanto nem foi iniciada. Passaram-se 6 anos e em 1957 a Prefeitura de São Paulo decidiu voltar a pensar no assunto e encomendou a Lina Bo Bardi um estudo, para o local onde existia uma construção sobre os túneis da avenida 9 de Julho, na Av. Paulista: Trianon, em frente ao Parque Siqueira Campos.

As obras foram iniciadas em 60 mas interrompidas várias vezes. A revolução de 64 causou uma longa interrupção só se retomando o ritmo de construção em 66. A obra pôde ser concluída finalmente em 1968.

O projeto estrutural, de uma audácia surpreendente, esteve a cargo da equipe do Prof. Figueiredo Ferraz. A construção foi realizada por "Sociedade Construtora Heleno & Fonseca S/A". Os principais engenheiros da obra foram Aloysio d'Andréa Pinto que acompanhou a execução no canteiro de obras e Roberto Rochlitz, fiscal do Museu de Arte.

A estrutura aparece de modo bastante claro nas figs. 283 a 285 que representam respectivamente os cortes transversal e longitudinal do conjunto e uma seção das vigas principais do piso [58].

A estrutura elevada, a única que aqui se descreve, é constituída de 4 pilares e 4 vigas. Cada conjunto de 2 pilares e 2 vigas forma um pórtico com vigas articuladas de 70 m de vão e 3,50 m de altura.

No nível da calçada, foi condição explícita de projeto que nada devia ser construído [55] para se ter uma visão ampla da paisagem da Av. 9 de Julho e o ambiente deveria manter os característicos de "belvedere" como a antiga construção do Trianon. Apenas os 4 pilares de 4 X 2,5 m e as vigas superiores de 2,5 X 3,5 m são aparentes. Na cota + 8,40 m uma laje nervurada com 50 cm de espessura seria suspensa por meio de tirantes de aço, não revestidos, a duas gigantescas vigas de piso, do pórtico, na cota + 14,50 m.

A laje nervurada com 2.100 m² foi construída com o sistema de "formas perdidas" e possui uma laje de fechamento de apenas 4 cm de espessura. Os tirantes podem ser vistos com clareza na fig. 286. A laje, com 5 m de balanços laterais é suspensa por duas ordens de tirantes. Os tirantes externos, em fila dupla, se localizam na prumada da alma externa da grande viga. Os tirantes internos, também em fila dupla (porém na fig. 286 os demais tirantes ficam do

outro lado da parede e não são visíveis) ficam na prumada da alma interna da viga. O projeto foi elaborado de tal forma que as reações dos tirantes nas duas faces da grande viga fossem quase iguais, minimizando o efeito de torção, bastante nocivo para um vão de 74 m! O ajuste por meio de luvas permitiu conseguir essa igualdade.

A estrutura do piso na cota + 14,50 m é bastante carregada. Além de suportar a laje inferior, foi calculada para uma carga acidental de 5 kN/m^2 (500 kgf/m^2) correspondente ao material de exposição e ao público nas situações mais desvantajosas.

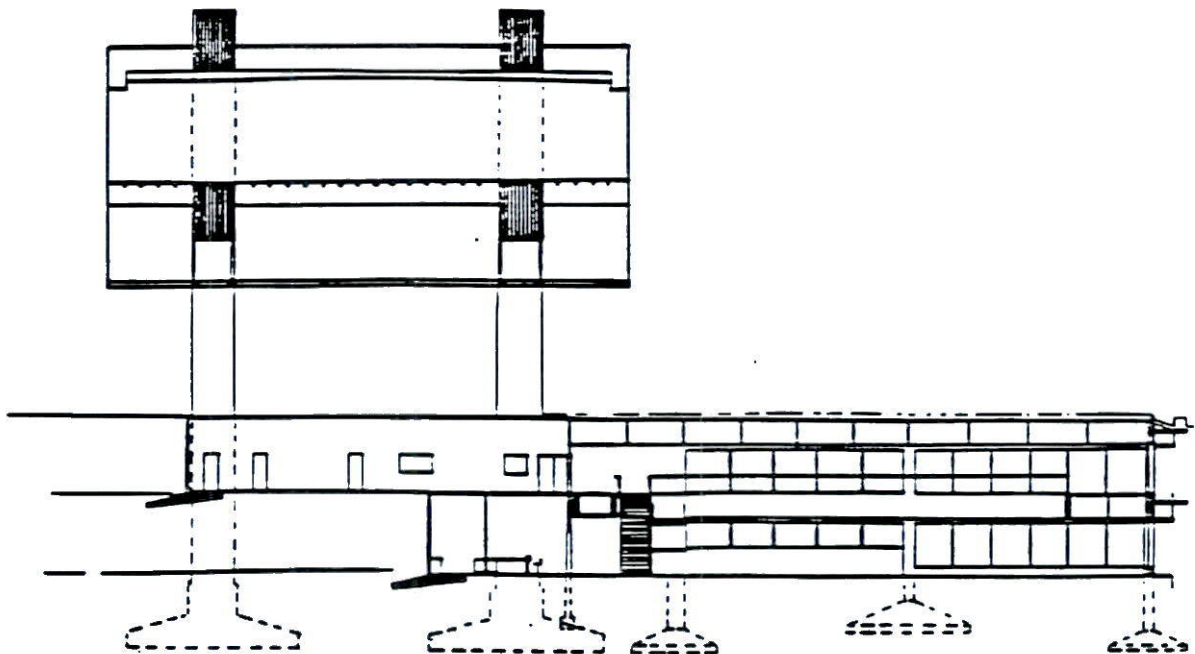


Fig. 283 Corte transversal da estrutura completa [58]

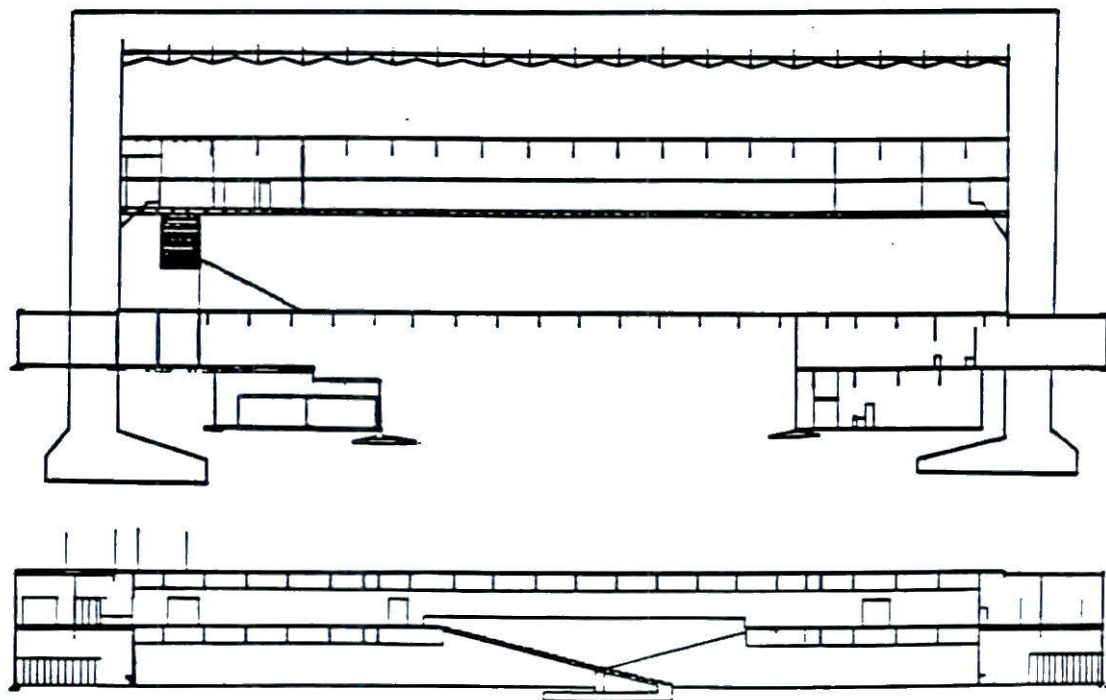


Fig. 284 Cortes longitudinais da estrutura na região do prédio elevado e região dos sub-solos [58]

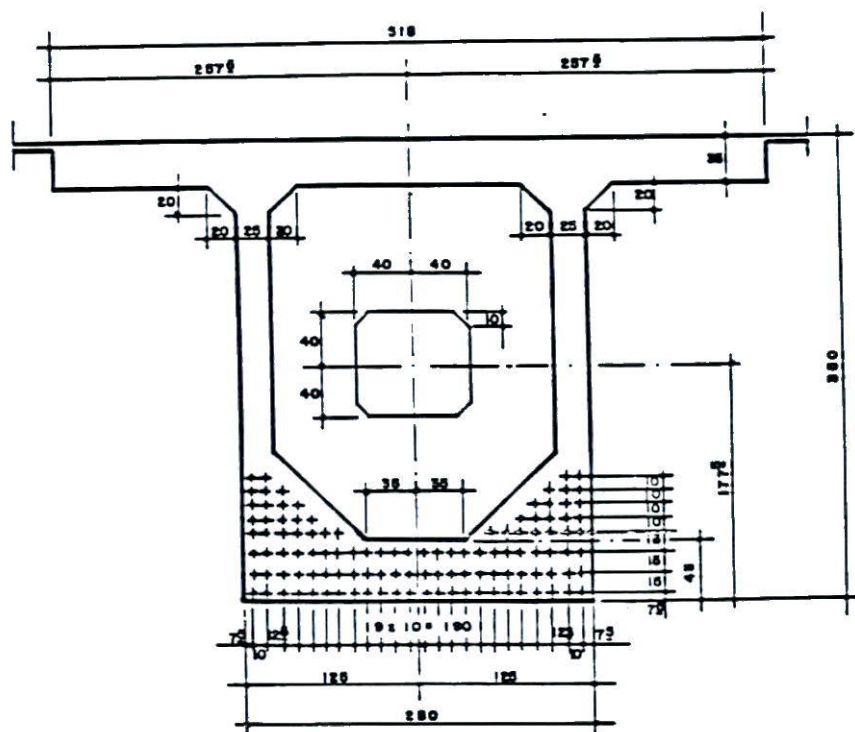


Fig. 285 Seção transversal da gigantesca viga de piso com 70 m de vão livre [58]

A enorme viga do piso é ôca, com paredes de 25 cm e seção externa de 2,5 X 3,5 m. Possui ainda uma mesa superior de compressão com um máximo de 5,15 m e 35 cm de espessura em todo o comprimento de 70 m. A parte inferior foi engrossada para suportar a pré-compressão de 100 MN (10.000 tf) dos 122 cabos de 40 ϕ 5 mm. Estas vigas são submetidas a um momento fletor de 200 MN.m (20.000 tf.m). As reações de apoio de tais vigas atingem o valor incrível de 12 MN (1200 tf).

Uma viga de 70 m, com uma modesta retração do concreto de 0,25‰ (1/4 de mm por metro), com uma extremidade fixa, possui um deslocamento no outro extremo de 18 mm. Acrescentando-se a isso um encurtamento proveniente de um abaixamento de temperatura de 30 °C (temperatura do concreto ao se dar a pega) para 10 °C, temperatura ambiente à noite, tem-se $18 + 15 = 33$ mm. Se a viga trabalhar em vazio, isto é, só com carga permanente, com uma pré-compressão de 5 MPa (50 kgf/cm²) e com um coefi-



Fig. 286 Laje na cota + 8,40 m com visão das duas linhas de tirantes com luvas para suspensão do piso nas vigas gigantes da cota + 14,50 m (Cortesia de Heleno & Fonseca [57]).

ciente final de fluência igual a 3, resulta um deslocamento adicional de 40 mm. Portanto, os apoios podem sofrer deslocamentos em direção ao meio do vão de 36 mm em cada extremidade. É indispensável prever no projeto essa possibilidade. O atrito nos apoios durante a aplicação da protensão poderá desviar uma fração considerável dessa protensão, que deveria ser aplicada à viga, para os pilones. Estes, não sendo previstos para receber essas forças horizontais adicionais, fatalmente haveriam de fissurar na base.

O problema foi resolvido mediante uma injeção de óleo entre a viga e a superfície de apoio.

Os detalhes dos apoios, que constituíram uma solução inédita, só puderam ser reproduzidos esquematicamente, porque os originais dos desenhos se perderam com o incêndio do prédio da Av. Paulista onde se localizava o escritório de projetos do Prof. Ferraz. A Fig. 288 extraída de [243] mostra o apoio retangular vazado de neoprene cintado, com a cavidade a ser preenchida com óleo sob pressão. Na ocasião da protensão havia deslocamento horizontal da ordem de 50 mm.

As grandes vigas da cobertura são análogas às do piso, porém com cargas e protensão muito menores. O máximo momento fletor é apenas de 90 MNm (9000 tfm) sendo então suficientes 62 cabos de 36 ϕ 5 mm. A ancoragem provisória de um desses cabos que permite a retirada do macaco e que é mantida até que a calda de cimento injetada na bainha e na trombeta adquira a resistência de projeto, é vista na fig. 287.



Fig. 287 Ancoragem provisória de um cabo de 36 ϕ 5 mm para 720 kN (72 tf) — reproduzida de "O Dirigente Construtor" de Abril de 1967 (Capa). Processo Ferraz, de protensão.

As vigas de cobertura exigem maior mobilidade ainda do que as de piso pois são sujeitas a maiores variações de temperatura. Isto foi conseguido, por meio de apoios pendulares de 6,7 m de altura.

O concreto empregado na estrutura mereceu por parte do engenheiro da obra assim como da fiscaliza-

ção, uma atenção toda especial. Era necessário conseguir uma série grande de característicos habitualmente nem cogitados nas obras comuns. Como saem totalmente da rotina, convém entrar em alguns pormenores. As imposições de arquitetura e de projeto exigiam:

- resistência mínima aos 28 dias cerca de 3 vezes maior do que a dos concretos usuais de obra, isto 45 MPa (450 kgf/cm²);
- diâmetro máximo do agregado 19 mm, compatível com o espaçamento das armaduras;
- pequena elevação da temperatura do concreto durante o processo de hidratação;
- retração pequena;
- textura compatível com o concreto aparente;
- concreto em escala industrial com preço competitivo.

Isto foi conseguido com relação água/cimento muito baixa (0,32) e consumo de cimento de 565 kg/m³. A trabalhabilidade exigiu o uso de aditivos plastificadores retardadores de pega. Assim foi possível usar vibradores de imersão, de 45 mm de agulha e 10.000 vibrações por minuto e vibradores de parede. Após 3 horas, não iniciada a pega, foi feita uma pervibração para melhorar o adensamento e libertação das partículas de ar ainda existentes na massa do concreto. A pervibração mostrou-se indispensável para se conseguir a resistência prevista. Os resultados obtidos foram:

Tensão média de ruptura aos

28 dias 56,3 MPa

Idem, 7 dias 45,6 MPa

Coeficiente de variação 10,9%

Como não era possível vibrar satisfatoriamente os corpos de prova, estes resultados foram obtidos em corpos de prova extraídos de vigas de 25 X 35 X 100 cm moldadas especialmente para esse fim, nas

mesmas condições de moldagem e cura da estrutura.

A Fig. 289 mostra um aspecto da obra concluída e em funcionamento. Nessa estrutura foram consumidos 9.000 m³ de concreto.

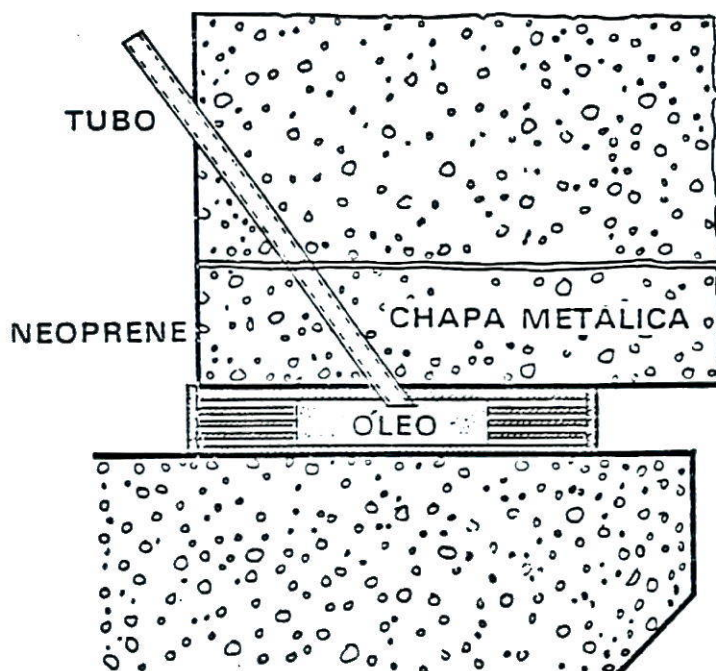


Fig. 288 Vista de um apoio, que é constituído por uma caixa retangular, onde se nota o tubo de injeção de óleo, solução inédita para minimizar o atrito durante a protensão [243]

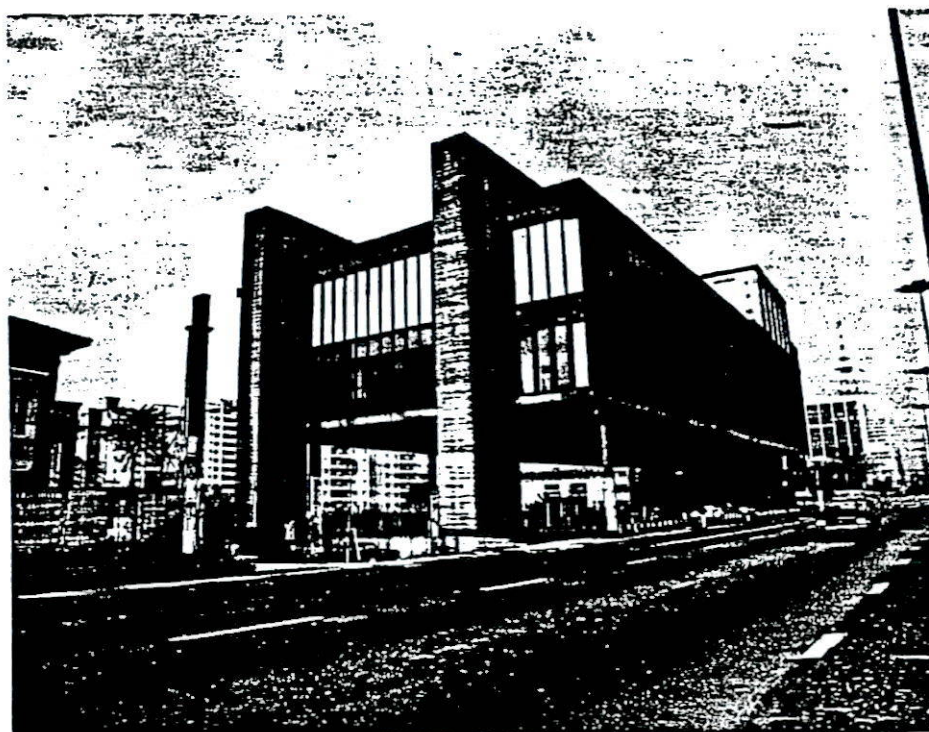


Fig. 289 Obra concluída vista da Av. Paulista. (Cortesia do Museu de Arte de São Paulo.)