

Obras

Museu do Amanhã, no Rio de Janeiro, tem cobertura metálica móvel com balanços de até 70 m

Estrutura dinâmica se movimenta automaticamente durante o dia para buscar a luz do sol e produzir energia

Por Luciana Tamaki

Edição 227 - Fevereiro/2016



Concebido pelo arquiteto espanhol Santiago Calatrava, edifício tem estrutura de concreto com formato curvilíneo e uma cobertura metálica com balanços de 70 m e 65 m

Uma das principais obras do programa Porto Maravilha é um edifício com grandes desafios de engenharia. O Museu do Amanhã, concebido pelo arquiteto espanhol Santiago Calatrava, tem estrutura de concreto com um formato curvilíneo único, além de uma cobertura metálica com balanços de 70 m e 65 m.

O museu faz parte do programa da Prefeitura do Rio de Janeiro de revitalização da região portuária, que engloba a demolição do Elevado da Perimetral, readequação de vias, implantação de VLT, construção do Museu de Arte do Rio (MAR) e requalificação da Praça Mauá, além da construção do próprio museu.

O grande destaque arquitetônico/construtivo é a cobertura. O projetista Flavio D'Alambert, da Projeto Alpha Engenharia de Estruturas, explica que essa estrutura metálica, que tem mais de 330 m de comprimento, é ancorada somente em dois pontos fixos - os demais apoios permitem deslocamentos horizontais, evitando a introdução de esforços devido ao trabalho de dilatação do conjunto. Pelo trabalho, o engenheiro conquistou o Prêmio Talento

Engenharia Estrutural 2015, na categoria Obras Especiais, organizado pela Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (Abece).

RESUMO DA OBRA

Museu do Amanhã

Localização: **Rio de Janeiro**

Área total: **33.000,77 m²**

Área construída: **18.240,95 m²**

Tamanho da estrutura: **338,34 m de comprimento e 20,85 m de altura**

Quantidade de concreto: **22 mil m³**

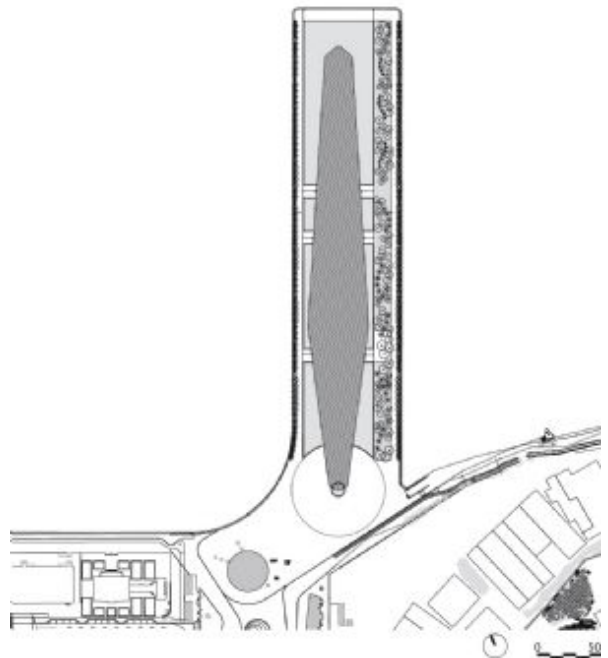
Aço (CA50/CA60): **3,1 mil t**

Peso da cobertura metálica: **3.810 t**

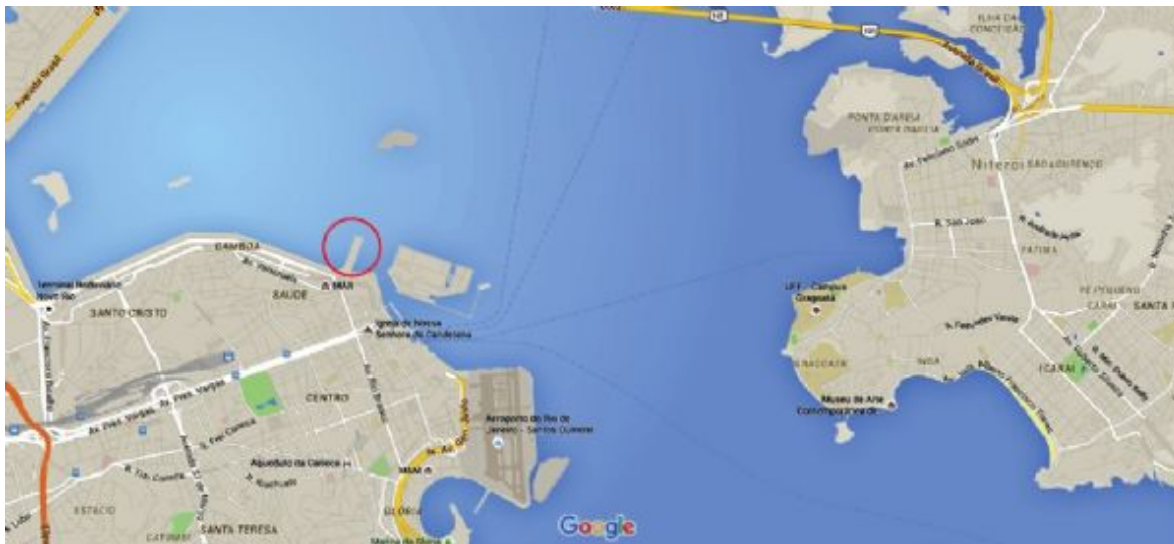
Placas fotovoltaicas: **5.492**

Espelho d'água: **9.200 m²**

Funcionários: **1.200 no pico das obras (diurno e noturno)**



Implantação da edificação no Pier Mauá



Museu localiza-se próximo à região portuária do Rio de Janeiro

O desenho da cobertura foi inspirado nas bromélias, plantas nativas da Mata Atlântica que Calatrava conheceu em visita ao Jardim Botânico. Suas laterais são compostas por treliças inclinadas de altura variável, e o conjunto forma um monobloco treliçado.

Uma maquete da estrutura foi testada no laboratório de vento do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Foi feito ensaio de carregamento estático na cobertura e nas fachadas para dimensionamento de esquadrias.

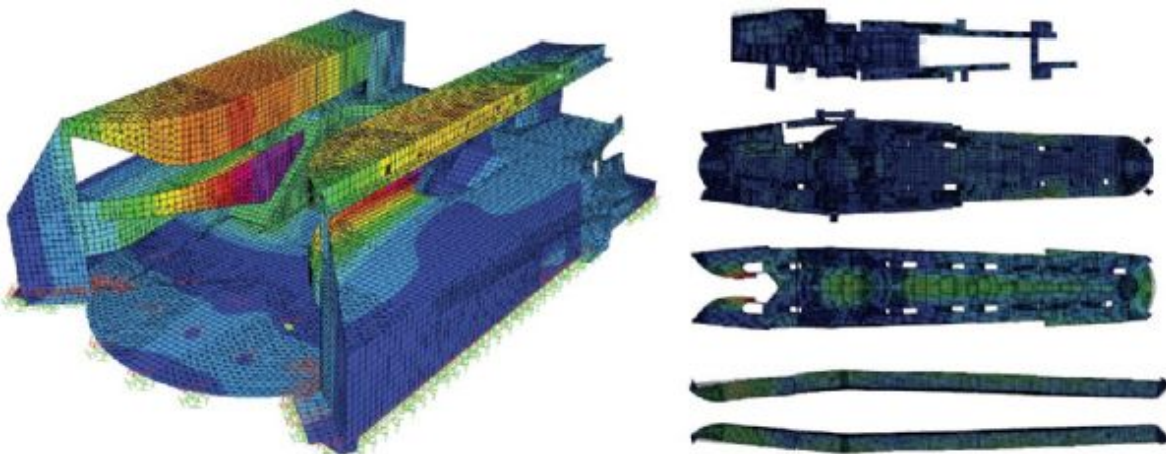
"Foram 300 tomadas de pressão", explica Gilder Nader, engenheiro do túnel de vento do IPT, onde os ensaios foram realizados. Cada tomada de pressão contém um sensor ligado ao computador, que forma um mapa de carregamentos que é encaminhado aos projetistas. "Sabemos que os pontos críticos são nas quinas, por conta das altas sucções", continua o engenheiro.



Como a edificação se encontra em um píer, cercada de mar por três lados, exceto a entrada pelo continente, foram feitas simulações de vento tanto para região de mar quanto terreno urbanizado. "Em terreno com edificações de 25 m, o vento tem outras características, mudam as turbulências [em comparação com o mar]", conta Nader.

Desenvolvido pelo escritório Engeti Consultoria e Engenharia, o projeto da estrutura de concreto - que também conquistou o prêmio da Abece na categoria Destaque do Júri - foi verificado com modelagem computacional. Devido às curvaturas e inclinações do projeto, o comportamento da estrutura não era intuitivo. As modelagens ajudaram a determinar o seu modelo matemático representativo, o que possibilitaria o levantamento dos esforços solicitantes, tensões e deformações, e, conseqüentemente, o dimensionamento e o detalhamento do projeto.

Foram usados desde modelos simples, aproximados com elementos de barras, até mais complexos, com elementos de casca e elementos sólidos. Os projetistas empregaram os softwares Strap, TQS, Midas e SAP2000, além de um pós-processador do SAP para integração das tensões.



As modelagens ajudaram a determinar o modelo matemático representativo da estrutura de concreto, o que possibilitaria o levantamento dos esforços solicitantes, tensões e deformações, e, conseqüentemente, o dimensionamento e o detalhamento do projeto

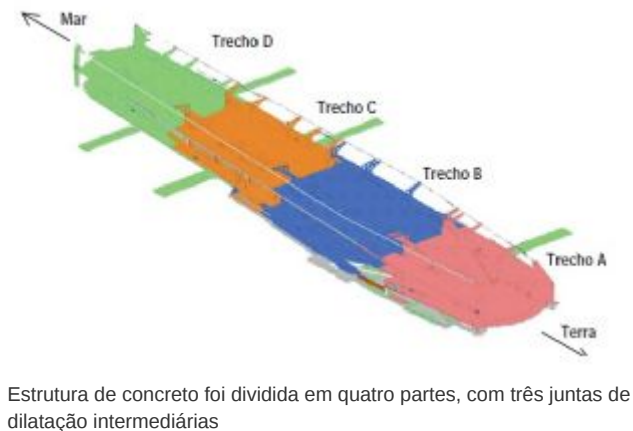
Montagem desafiadora

Localizado em um píer na Praça Mauá, o Museu do Amanhã lança-se sobre a Baía de Guanabara. Circulado por água, ele acaba se destacando na paisagem, mesmo com a restrição de altura de 18 m para não prejudicar a visibilidade dos imóveis tombados na área - a igreja e mosteiro de São Bento, fundados em 1590 e declarados patrimônio da humanidade pela Unesco.

Essa posição privilegiada permitiu a exploração funcional das quatro fachadas do edifício e até da cobertura, como uma quinta fachada. Ela desce pelas laterais, filtrando parte da luz, e seus balanços, um com 70 m junto à praça e outro com 65 m ao lado da Baía, formam um abrigo ao visitante.

Por outro lado, devido à proximidade com o mar, foi necessário projetar a proteção adequada de acordo com a norma ISO 12944-1:1998 Paints and Varnishes - Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems (Tintas e Vernizes - Proteção Contra a Corrosão de Estruturas de Aço com Sistemas de Pintura), além da especificação de aços patináveis para viabilizar o uso do metal. Para atingir menor absorção do calor, a estrutura metálica foi pintada de branco. "Com o revestimento térmico, seu desempenho se compara ao de telhas de aço em grandes coberturas", afirma Flavio D'Alambert.

A estrutura da cobertura foi feita com perfis do tipo caixa com dimensões de 1 m x 1 m até 1 m x 1,5 m.



As peças que chegavam ao píer tinham até 20 m de comprimento e compunham módulos de até 100 t. Eles eram levados por um pórtilho, que percorria o canteiro de ponta a ponta, até o local exato de montagem da estrutura

Para a execução, foram implantadas duas fábricas no canteiro, uma em cada cabeceira da obra, sobre o píer. "O local dificultou a logística, transporte e montagem das peças. Poucas empresas se encaixavam no perfil necessário", conta D'Alambert.

As peças que chegavam ao píer tinham até 20 m de comprimento e compunham módulos de até 100 t. Eles eram levados por um pórtilho, que percorria o canteiro de ponta a ponta, até o local exato de montagem da estrutura. "Quando a obra entrou em 'velocidade de cruzeiro', a cada duas semanas avançava um módulo", conta André Pestana, da Martifer, empresa responsável pela fabricação e montagem da cobertura e caixilhos.

Devido ao formato e ao comportamento estrutural, foram executados muitos enrijecimentos localizados, explica D'Alambert. "As peças tipo caixa podem sofrer o efeito de flambagem local, devido à grande dimensão, portanto foram soldadas chapas internas para prevenir este efeito indesejável." As soldagens foram acompanhadas por um rígido controle de execução: além da vistoria visual, foram feitos testes de líquido penetrante nas soldas de filete e ultrassom nas soldas de penetração total. O corpo rígido também foi fundamental para que a deformação da estrutura fosse compatível com a dos vidros da fachada, salienta Pestana.

Um ponto que exigiu extremo cuidado na obra, e que foi planejado desde o projeto, foi o descimbramento da estrutura metálica. A cobertura, explica Pestana, foi fabricada com uma contraflecha, que seria compensada após a remoção dos escoramentos, com a acomodação dos carregamentos do peso próprio.

O procedimento demorou dois dias para cada lado do balanço, conta o presidente da concessionária Porto Novo, José Renato Ponte, que acompanhou toda a obra. "Retiramos as escoras aos poucos, com medições de topografia, monitoramos o conjunto de soldas, dos pilares e das paredes, se estavam dentro do especificado em projeto. Também foram levadas em consideração as condições de vento", relata. Primeiro foi feito descimbramento no lado do continente. Quando essas escoras foram retiradas e esse lado da estrutura ficou em balanço, a parte próxima ao mar estava em fase de conclusão. "Felizmente funcionou muito bem", conta Ponte.



Devido a problemas de integridade nas estacas do Píer Mauá, edifício do museu tem fundações próprias, compostas por 2.500 estacas, sendo 1.500 metálicas (foto), com profundidade média de 20 m, além de 1.000 estacas-raiz, a 18 m

Desafios concretos

No início do projeto, cogitou-se apoiar a edificação na estrutura do Píer Mauá, construído em 1948. Ela é composta

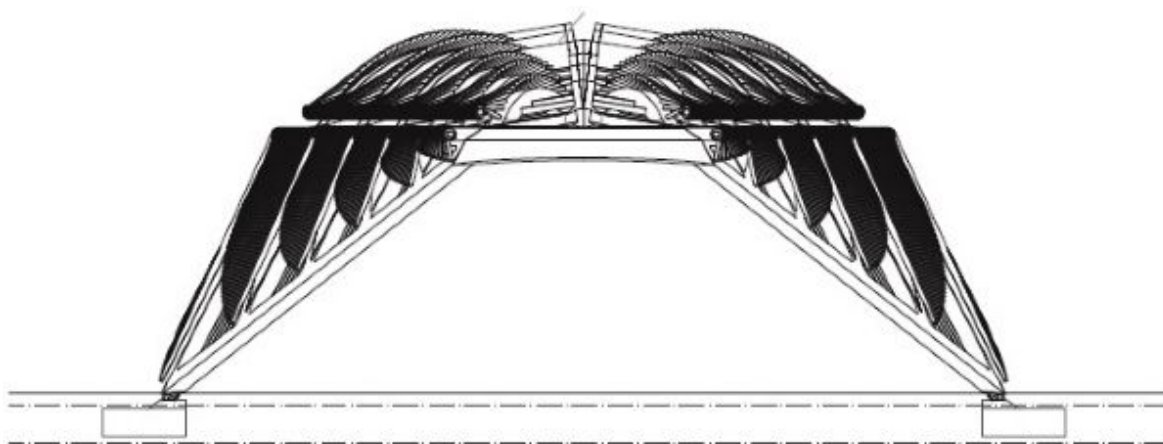
por laje de alívio, dolphins, enrocamento e cavaletes constituídos por pares de estacas pré-moldadas inclinadas. No entanto, após a avaliação das fundações, constatou-se que algumas estacas estavam seccionadas, trincadas ou fissuradas, o que comprometeria o seu desempenho. "Por sua idade e pelo tipo de manutenção realizada, não era indicado usar sua estrutura. Então, as fundações do museu são estacas independentes", diz Ponte. Foi necessário vencer os cerca de 20 m de enrocamento para as fundações atingirem a camada de rocha.

Se, no projeto original, estavam previstas entre 400 e 500 estacas, nas novas condições de projeto foi necessário executar 2.500, sendo 1.500 estacas metálicas, com profundidade média de 20 m, e 1 mil estacas-raiz, a 18 m. "Informações importantes só foram definidas durante a obra", explica Ponte. Um exemplo foi a carga da museografia. O Museu do Amanhã tem um conteúdo voltado à exploração de possibilidades futuras, e por isso não apresenta uma museografia convencional, como quadros em paredes ou cavaletes, mas sim equipamentos tecnológicos pesados. "Continuamos fazendo estaca-raiz enquanto já se concretava uma parte do prédio."

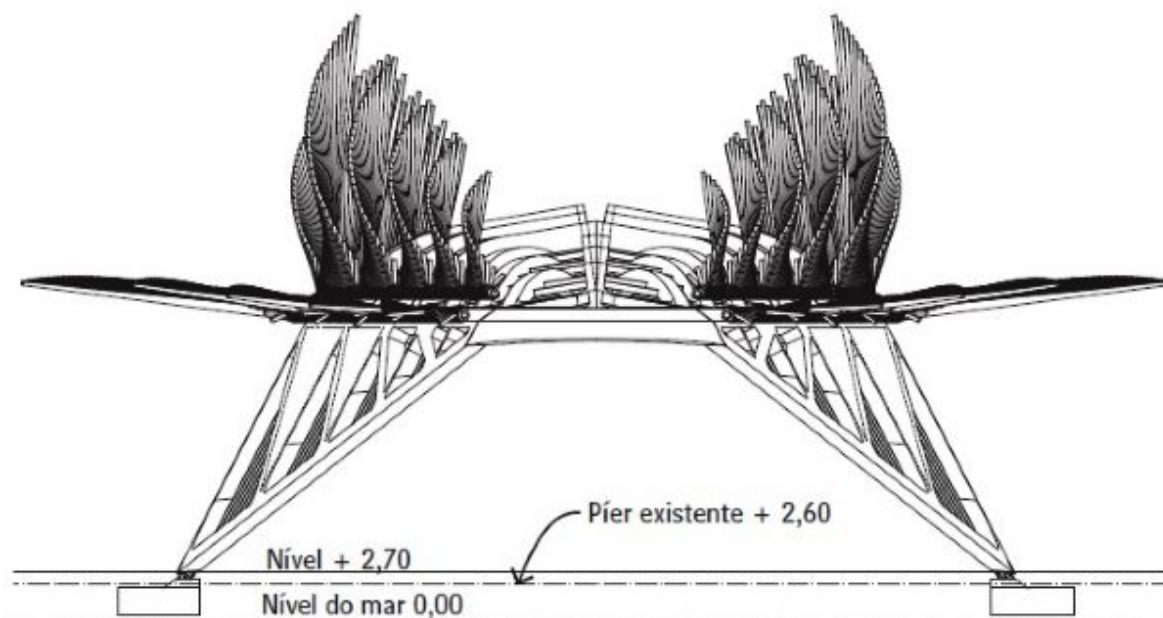
Na sequência normal de obra, após a execução das fundações, começaram a ser feitas as lajes do subsolo, a laje em terra e os pilares. As partes da estrutura metálica vinham chegando e sendo montadas ainda com concretagem acontecendo.

Aletas móveis

A estrutura principal da cobertura metálica é o veio central, que contém 48 asas - 12 laterais na fachada oeste, 12 laterais na fachada leste e 24 superiores. Cada asa tem de 20 a 30 aletas móveis, somando 1.380 desses elementos, que têm de 2 m a 24 m de comprimento. As aletas móveis - outra inovação do projeto - carregam em sua face superior 5.492 unidades de painéis de células fotovoltaicas, divididos em 24 módulos, e produzem 247,9 MWh/ano. Elas se movimentam conforme a orientação solar para otimizar a geração de energia - somadas, as cargas das aletas e dos painéis somam 1,2 tf de estruturas dinâmicas. O movimento é realizado por conjuntos de macacos hidráulicos, que acionam 184 pistões interligados num único eixo de cada lado, e este eixo movimenta as aletas. O controle é automatizado, embora possa ser operado manualmente.



Elevação norte – asas fechadas



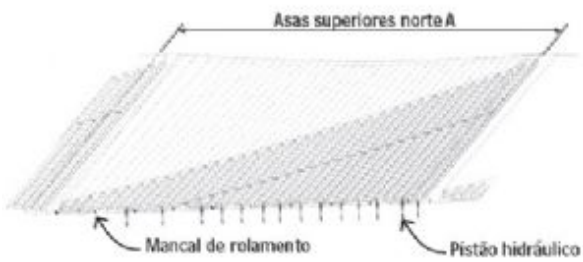
Elevação norte – asas abertas



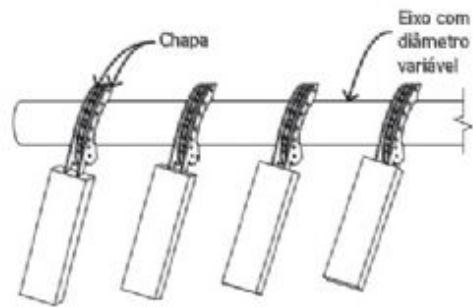
Planta geral – localização das asas superiores



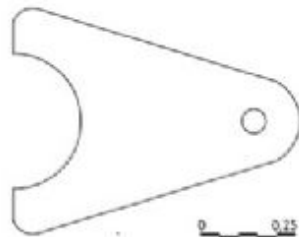
Elevação lateral – localização das asas inferiores



Asas superiores – detalhes das instalações

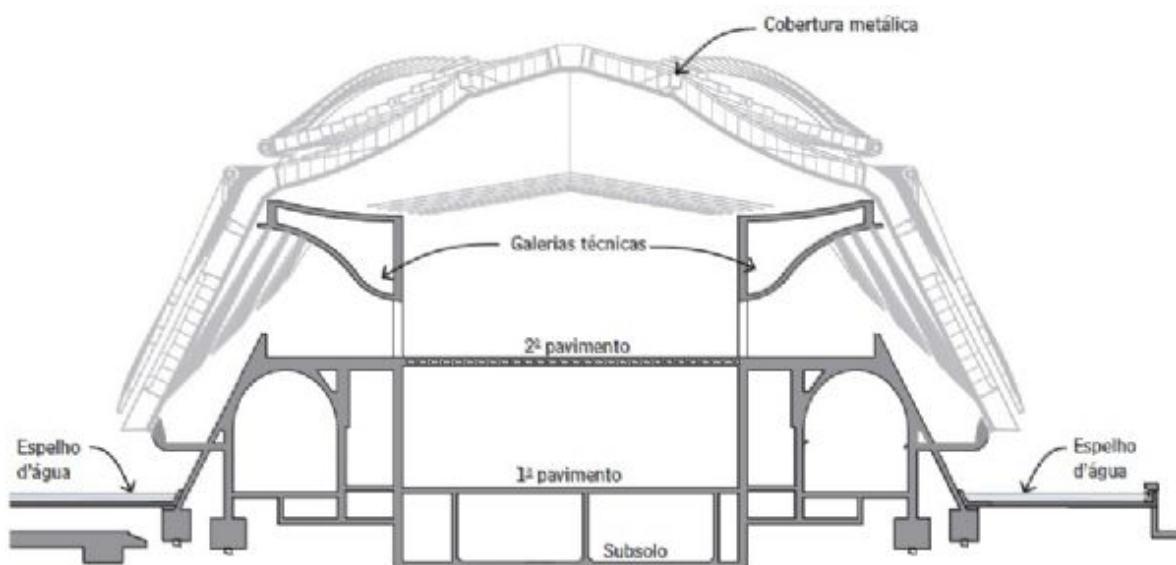


Detalhe típico – fixação das aletas no eixo metálico

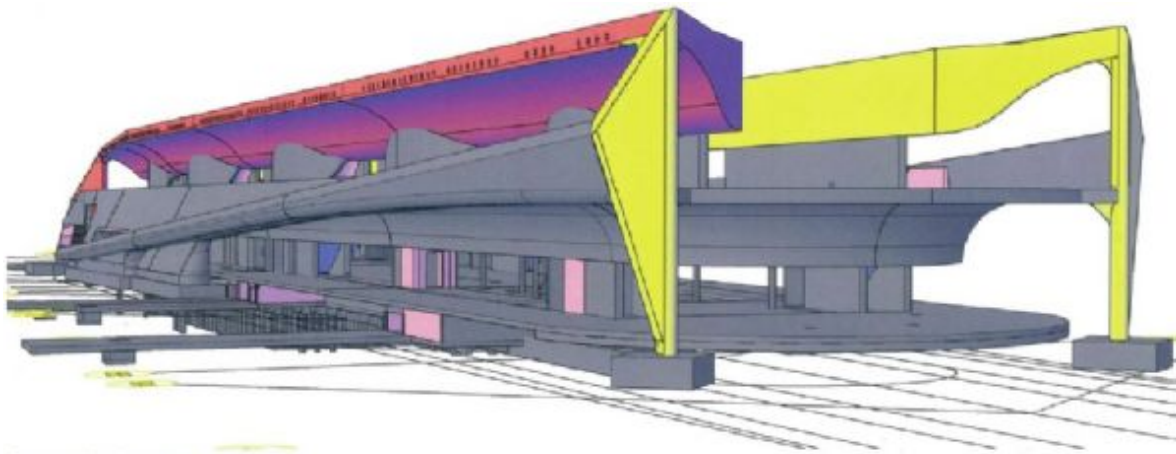


Braço para pistão hidráulico – chapa 16 mm

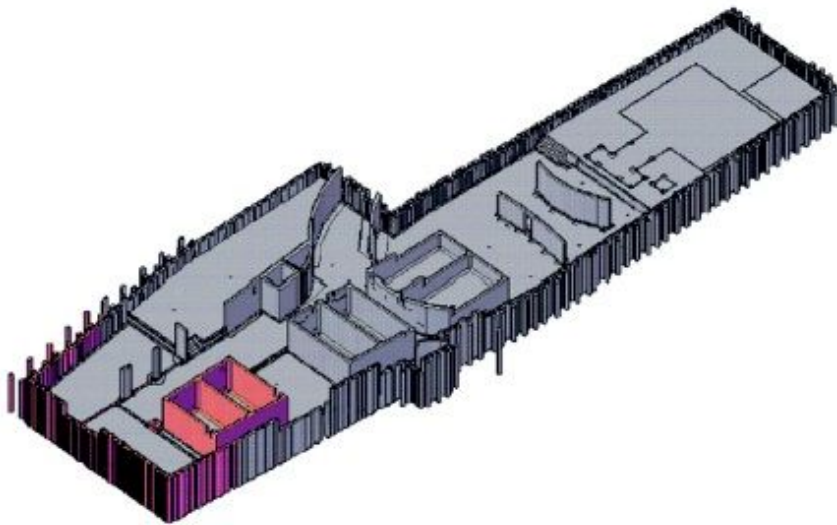
Composição da estrutura de concreto



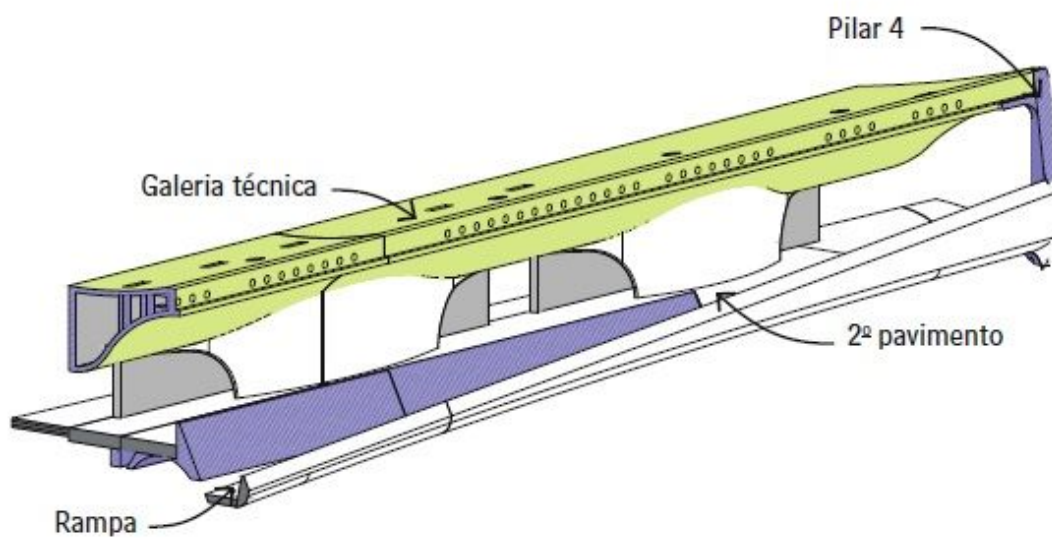
Seção transversal



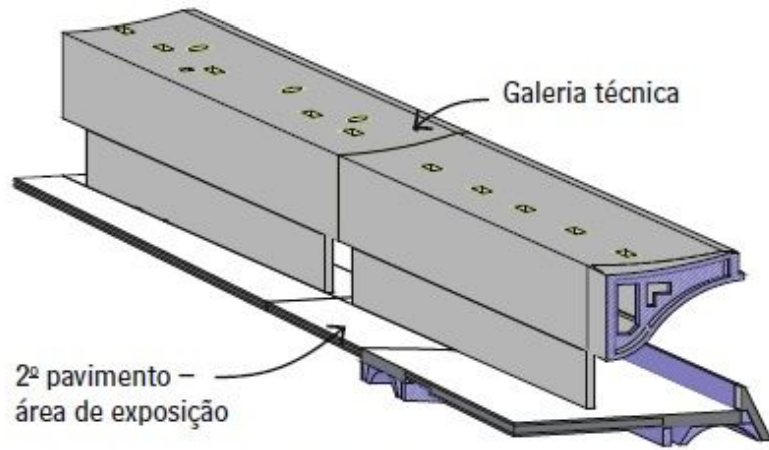
Perspectiva da estrutura



Perspectiva do subsolo



Perspectiva da galeria técnica - lado externo



Perspectiva da galeria técnica – lado interno