

Sbo

Sebentas d'Obra Ciclo de construção do projecto à obra

#09, abril 2017
**Reabilitação do
Pavilhão dos Desportos**
Porto

José Carlos Loureiro
Hugo Marques

11 | PÓRTICO DE ENCONTRO

Editor

Cadernos d'Obra

Diretor

Vitor Abrantes

Coordenação Editorial

Bárbara Rangel

Comissão Editorial

Abel Henriques

Ana Sofia Guimarães

António Silva Cardoso

Joaquim Poças Martins (presidente da OERN)

Paulo Conceição

Rui Faria

Conceção Gráfica

Incomun

Créditos Fotográficos

Autores

Fundação Marques da Silva

Galp Ida – Gab. de Arquitetura e Urbanismo Lda

GEG - Gabinete de Estruturas e Geotecnia

José Carlos Loureiro

Luís Ferreira Alves

Impressão

Rainho e Neves

2.ª edição, setembro 2019

Depósito legal: 336727/11

ISSN 2184-6065

Tiragem: 500 exemplares

Preço por número

4,50 euros

Publicação periódica

n.º 9. Ano III, abril 2017

Propriedade

FEUP/DEC

R. Dr. Roberto Frias s/n

4200-465 Porto

Portugal

Tel./fax: + 351 22 508 19 40

cdo@fe.up.pt

Iniciativa e produção

Departamento de Engenharia Civil da FEUP

Com o apoio de

Universidade do Porto

Câmara Municipal do Porto

Ordem dos Engenheiros Região Norte

Agradecimento

Cirilo Ferreira

Fundação Marques da Silva

Galp Ida – Gab. de Arquitetura e Urbanismo Lda

GEG – Gabinete de Estruturas e Geotecnia

José Carlos Loureiro

Luís Loureiro

Luís Ferreira Alves

É proibida a reprodução sem a autorização escrita dos autores e do editor.

A exatidão da informação, os *copyrights* das imagens, as fontes das notas de rodapé, bem como a bibliografia, são da responsabilidade dos autores dos artigos, razão pela qual a direção da revista não pode assumir nenhum tipo de responsabilidade em caso de erro ou omissão.

A iniciativa “Fora de Portas engenharia civil à mostra”, resulta da colaboração entre o Departamento de Engenharia Civil da FEUP, a Mostra da UP e o Município do Porto. Realiza-se no contexto da iniciativa Porto Innovation Hub (PIH), que pretende envolver os cidadãos e visitantes da Invicta na descoberta da inovação que transformou a cidade nos últimos séculos. Através da visita a locais históricos e infraestruturas emblemáticas do Porto, procura-se demonstrar o impacto direto da inovação na melhoria da qualidade de vida dos cidadãos. O PIH é uma iniciativa do Município do Porto que pretende ser uma plataforma para o fortalecimento do ecossistema de inovação e empreendedorismo da cidade, contribuindo desta forma para que o Porto se possa destacar no panorama nacional e internacional como uma cidade inovadora e criativa. O PIH propõe a criação de um espaço de experimentação e laboratório vivo, potenciando cenários e oportunidades de desenvolver novos produtos, métodos ou conceitos à escala urbana, contribuindo, assim, para a cultura de transformação para a inovação.

Editorial. A **Sebentas d'Obra** inicia agora um conjunto de publicações em parceria com a Mostra da Universidade do Porto e com a Porto Innovation Hub, promovida pela Porto Digital, com o objetivo de mostrar as inovações em Engenharia Civil e Arquitetura que se têm vindo a realizar nas últimas décadas na cidade do Porto, desde a vasta rede do Metro do Porto, à reabilitação de edifícios icónicos da nossa cidade, à construção e reabilitação de algumas pontes do rio Douro, as grandes obras de arte de Engenharia Civil.

Nesta série começou-se com um dos mais paradigmáticos ícones da nossa cidade, o Pavilhão Rosa Mota desenhado pelo Arq. José Carlos Loureiro no início da sua carreira, em 1951, uma obra com mais de 60 anos, mas de uma enorme contemporaneidade não só do ponto de vista arquitetónico e urbano como tecnológico. Foi de uma enorme coragem em plenos anos 50, ousar propor um projeto tão disruptivo, assumindo a modernidade numa sociedade que se pretendia pacata e de brandos costumes. Atrever-se a demolir um edifício clássico, réplica fiel do Palácio de Cristal de Londres e propor uma forma geométrica tão simples como uma calota esférica, escondia um manifesto eminentemente modernista. Essa Coragem foi uma alavanca para se assumir o que se estava a germinar na Escola de Belas Artes pelo Mestre Carlos Ramos, uma nova estratégia de entender a arquitetura como uma ferramenta de transformação cultural e social. Do ponto de vista tecnológico a Engenharia Civil teve um papel determinante nas soluções propostas pelos engenheiros de estruturas Eng. António Soares e Eng. Jorge Delgado (professor na FEUP), para tornar possível a concretização desta cúpula com uma espessura de 5 a 8 cm, mais de 92 m de diâmetro e 31,5 m de altura, ainda hoje a maior cúpula construída no Porto. Esta cúpula não é apenas uma estrutura de betão compacto, todos os seus fusos (área compreendida entre dois meridianos) são perfurados por claraboias circulares e o seu polo é construído por betão translucido (tecnologia construtiva utilizada pela primeira vez nessa época em Portugal). A forma como, através destas aberturas, se conjuga a iluminação natural artificial gizada pelo engenheiro eletrotécnico Eng. Botelho de Sousa é, também ainda hoje notável. Estas arriscadas opções só foram possíveis, porque desde o início esta equipa desenvolveu o projeto com uma enorme cumplicidade, sabendo que estariam a construir uma das obras mais notáveis da Arquitetura e Engenharia portuguesas.

Passados agora mais de 60 anos, é necessário cuidar desta estrutura, entre outras coisas, a fina espessura desta calota esférica tem de ser reforçada e o betão translucido do topo da abobada tem de ser revisto e recuperado. Nesta edição, mostra-se o projeto original de arquitetura e de estruturas e revelam-se os resultados das inspeções cuidadas que têm vindo a ser feitas ao longo dos últimos anos pela equipa do GEG dirigida pelo Eng. Hugo Marques. Numa palestra a decorrer no próprio edifício, o Arq. José Carlos Loureiro irá contar a história deste projeto desde o início da sua vida como arquiteto, e o Eng. Campos e Matos do GEG irá mostrar as manobras de inspeção realizadas para atestar as urgentes necessidades de manutenção desta obra, para de seguida se visitar pelo exterior a cobertura subindo pela famosa escada helicoidal.

Porto, 22 de abril de 2017
Bárbara Rangel

Reabilitação do Pavilhão dos Desportos

O projeto original

Como começou: Tinha os meus 27 anos quando um amigo, dos autênticos, falou ao Presidente da Câmara de então, na hipótese de eu ingressar nos Serviços Técnicos como arquiteto. A resposta foi: não há vaga mas talvez se arranje um projeto para o “moço fazer”. E assim começou a aventura de um jovem que completara o seu curso em 1950, com 24 anos e se via confrontado com uma tarefa tremenda, de uma escala enorme para a sua inexperiência.

Tratava-se de adaptar o velho Palácio de Cristal de forma a que ali se pudesse realizar o campeonato do mundo de *hockey* em patins. Rapidamente se constatou a impossibilidade de tal adaptação por insuficiência de área, pela existência de pilares dificultando a visibilidade, pelo estado de quási ruína das estruturas metálicas envidraçadas com entradas de água abundantes, etc., etc.

A ideia que já vinha detrás, de substituição do arruinado Palácio de Cristal (projeto da AIP), voltou a emergir, com a força que alguém na C. M. Porto, imprimiu ao caso. Assim surge na cabeça do jovem arquiteto a ideia primária, lembro-me, de uma forma circular em cúpula. Sobre ela, agora passados mais de 60 anos em jeito de autocrítica, escrevi há algum tempo:

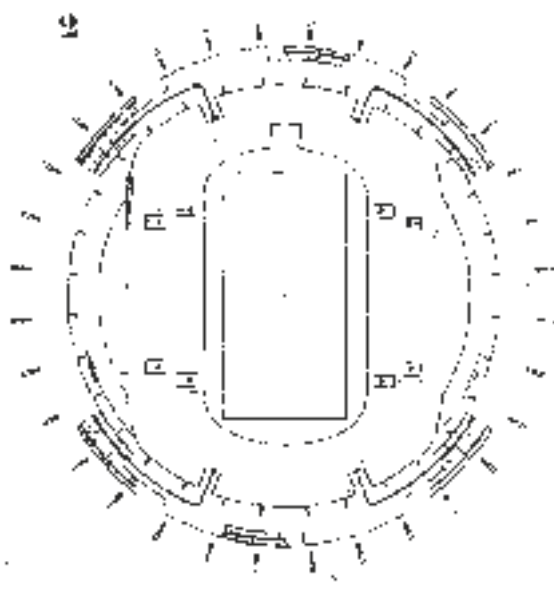
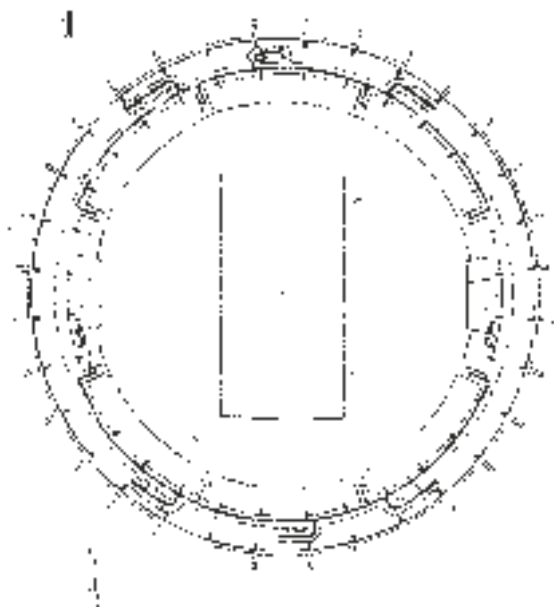
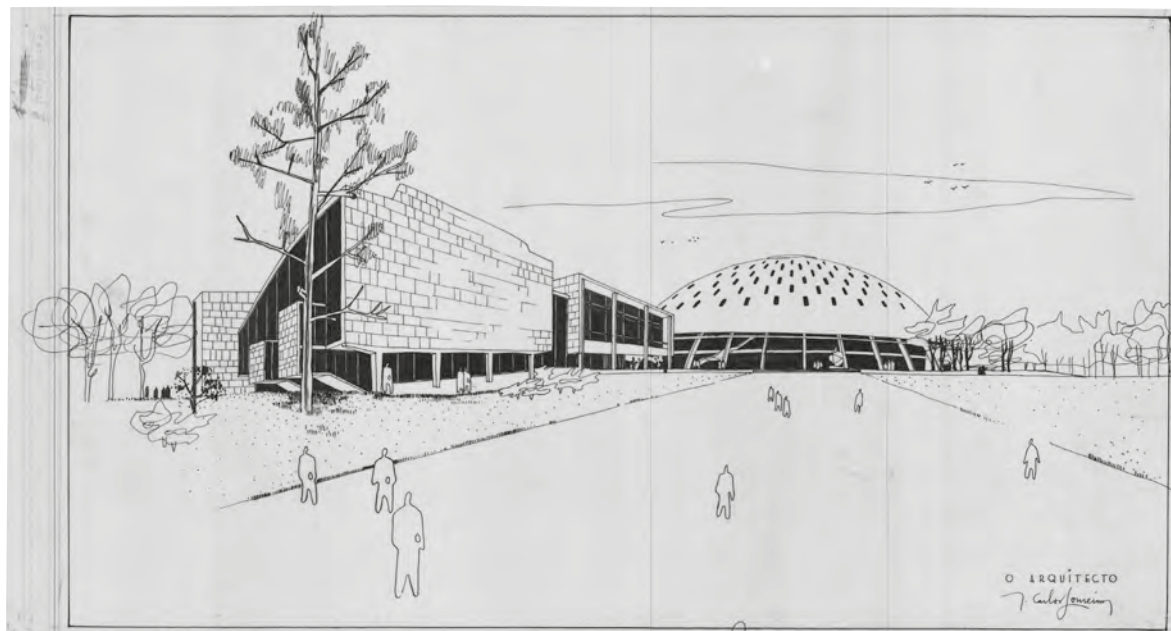
“Estávamos perante uma tremenda complexidade de problemas: de integração nos jardins, de criação de um espaço que deve responder a solicitações diversificadas de utilização, de relação com problemas estruturais pouco comuns, de questões de segurança e de acesso para os milhares de ocupantes que o frequentam, etc. O edifício aí está, fazendo parte da silhueta da cidade, emergindo sem agressividade das copas do arvoredor numa continuidade orgânica e pacífica, formalmente quási como uma excrescência do rochedo onde está pousado. Dentro dos jardins do Palácio, a sua forma redonda, apesar da dimensão (diâmetro – 92 m) adapta-se serenamente à envolvente, sem a violência que resultaria de formas geométricas ortogonais rígidas”.

O edifício tem agora, como se disse, mais de 60 anos de idade. A sua reabilitação é, por isso, indispensável e mesmo urgente no que diz respeito à estrutura que em alguns pontos, poucos por enquanto, já apresenta fragilidades. No projeto que elaboramos por incumbência da C. M. Porto e em que tivemos a valiosa colaboração do GEG, Gabinete de Estruturas e Geotecnia, Lda. foram estudadas e propostas soluções para sua cuidada recuperação.

O projeto original de estruturas (1952/54) foi da autoria dos Engenheiros António Soares e Jorge Delgado (assistente da FEUP) que com o Arquiteto José Carlos Loureiro mantiveram uma excelente colaboração, em projeto de invulgares características.

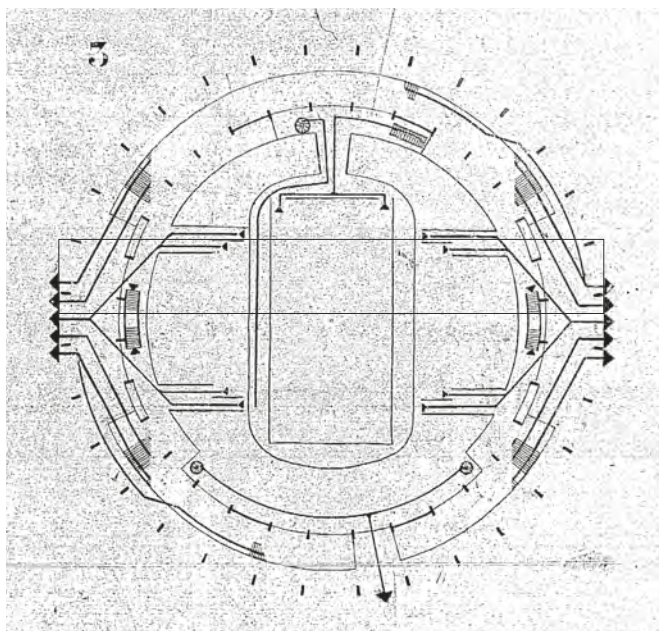
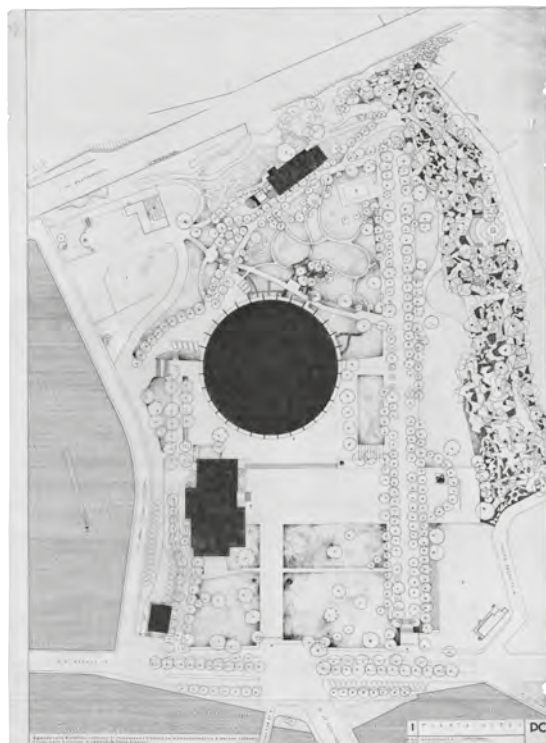
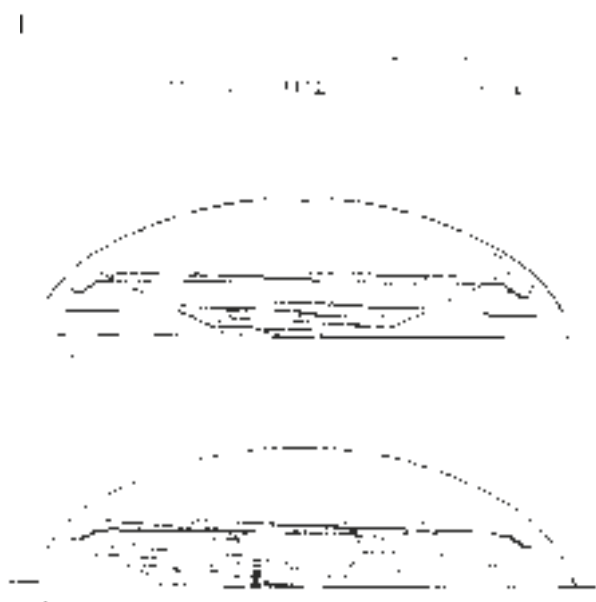


Vista do interior do Pavilhão de desportos, Fotografia de Luís Ferreira Alves, 1992. Arquivo José Carlos Loureiro. © Fundação Marques da Silva. Cota: FIMS/JCL/0005-Foto0001



Projeto de Arquitetura original. Perspetiva do exterior para a apresentação do projeto, [1951]. Arquivo José Carlos Loureiro. © Fundação Marques da Silva. Cota: FIMS/JCL/0005-pd0001.

Projeto de Arquitetura original. Esquemas de circulação parte do estudo prévio, [1951].



ESQUEMA DE CIRCULAÇÃO

1 PLANTA A COTA 12 M.
3 4 M.
1 M.

- BANCADA SUPERIOR
- BANCADAS DE TOPO
- BANCADAS LATERAIS
- AUTORIDADES
- JORNALISTAS
- JOGADORES
- SANITARIOS - B&C

ESCALA 1:500

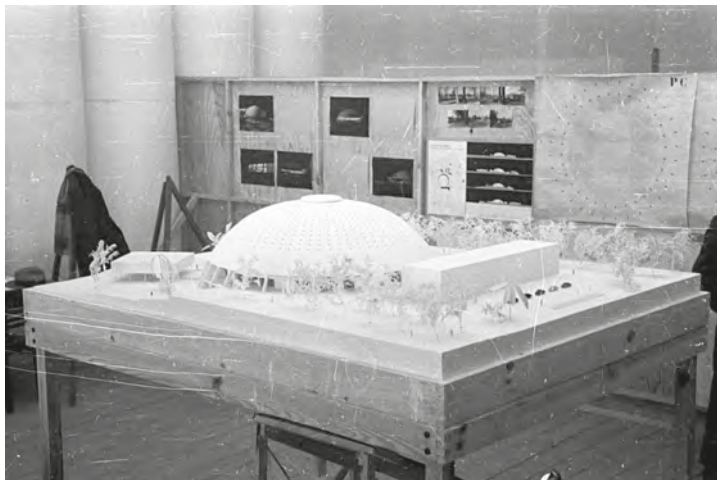
ARQUITECTO

7

ENGENHEIRO

Projeto de Arquitetura original. Alçados e cortes parte do estudo prévio, [1951].

Projeto de Arquitetura original. Planta de localização [1951]. Arquivo José Carlos Loureiro. © Fundação Marques da Silva. Cota: FIMS/JCL/0005-pd0002



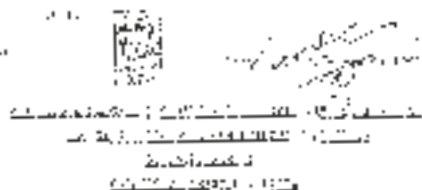
Projeto de Arquitetura original. Maquete, 1952.
Foto aérea durante a obra (?), 1952.
Bancada durante a realização dos campeonato do mundo de *hockey* em patins, 1952.



Cimbre para a construção da estrutura da cúpula, 1953.

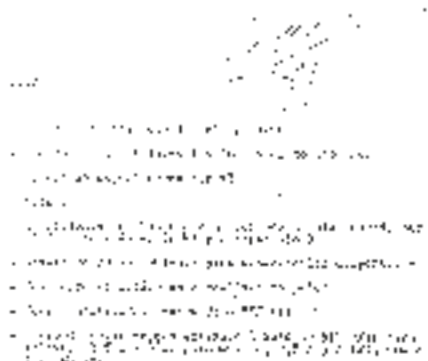
Finalização da construção da cúpula, 1954.

Finalização do revestimento da cúpula, 1959.



1. The first step in the process of identifying a problem is to determine the nature of the problem. This involves a thorough understanding of the situation and the factors that may be contributing to the problem. Once the problem has been identified, the next step is to develop a plan of action. This plan should outline the steps that will be taken to address the problem and the resources that will be required. The third step is to implement the plan. This involves putting the plan into action and monitoring the progress. Finally, the fourth step is to evaluate the results. This involves assessing the effectiveness of the plan and making any necessary adjustments.

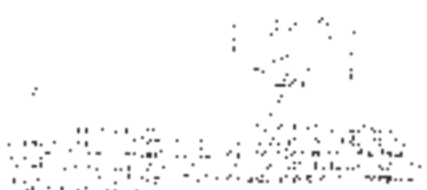
1. The first step is to identify the problem or question that needs to be answered. This involves understanding the context and the specific requirements of the task.

[illegible]
$$= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial f_j}{\partial x_1}(x) + \frac{\partial f_j}{\partial x_2}(x) + \dots + \frac{\partial f_j}{\partial x_n}(x) \right) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial f_j}{\partial x_1}(x) + \frac{\partial f_j}{\partial x_2}(x) + \dots + \frac{\partial f_j}{\partial x_n}(x) \right)$$


The authors would like to thank Dr. J. A. J. van der
Linden for his contribution to the design and construction of the
model and for his help in the interpretation of the results.

[illegible][illegible]

1. The first step in the process is to identify the problem. This involves gathering information about the situation and understanding the needs of the stakeholders involved. Once the problem is identified, the next step is to develop a plan of action. This plan should outline the goals of the project, the tasks that need to be completed, and the resources that will be required. The third step is to implement the plan. This involves putting the plan into action and monitoring progress. Finally, the fourth step is to evaluate the results. This involves assessing the outcomes of the project and determining whether the goals have been achieved.

[illegible]

1. The first step is to identify the problem. This involves understanding the current situation and the goals that need to be achieved.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{\mathbf{q}}} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mathbf{q}} = \mathbf{F}(\mathbf{q}, \mathbf{v}, t) = \mathbf{m}(\mathbf{q}) \mathbf{a}(\mathbf{q}, \mathbf{v}, t)$$

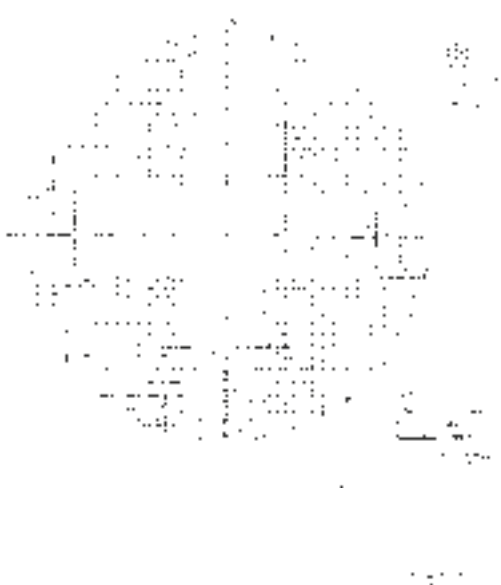
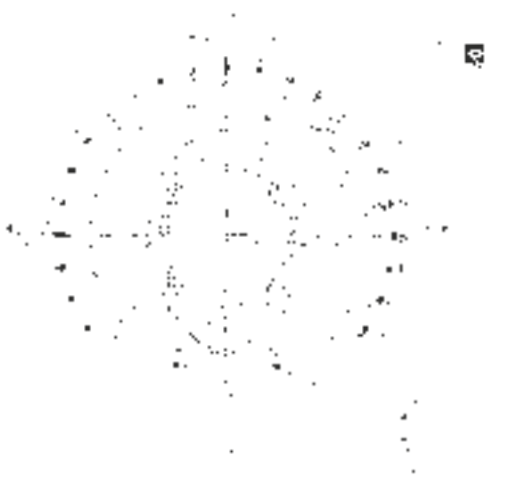
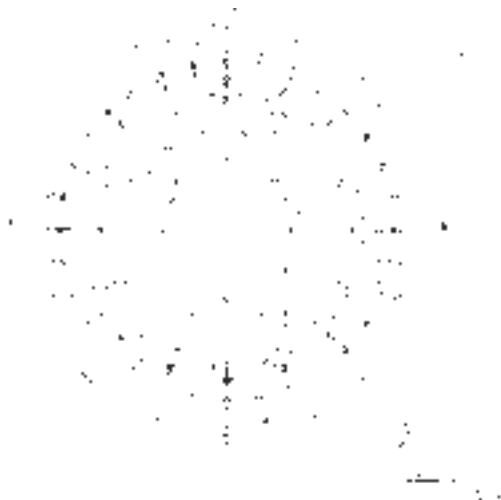
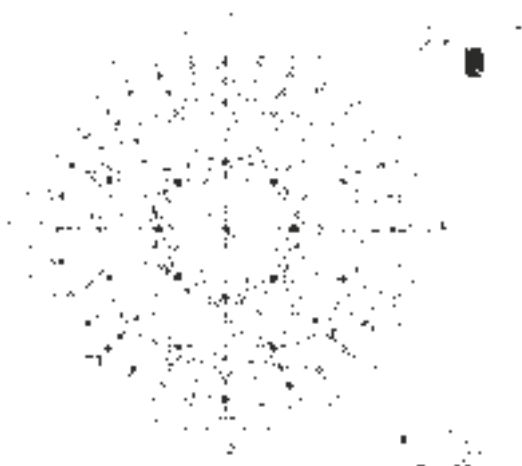
the 1990s, the number of people in the world who are illiterate has increased from 1.2 billion to 1.5 billion. The number of illiterate people in the world is projected to reach 1.7 billion by the year 2015. The number of illiterate people in the world is projected to reach 1.7 billion by the year 2015. The number of illiterate people in the world is projected to reach 1.7 billion by the year 2015.

[illegible]

1. The first step is to identify the key components of the system. This includes understanding the hardware, software, and data involved.

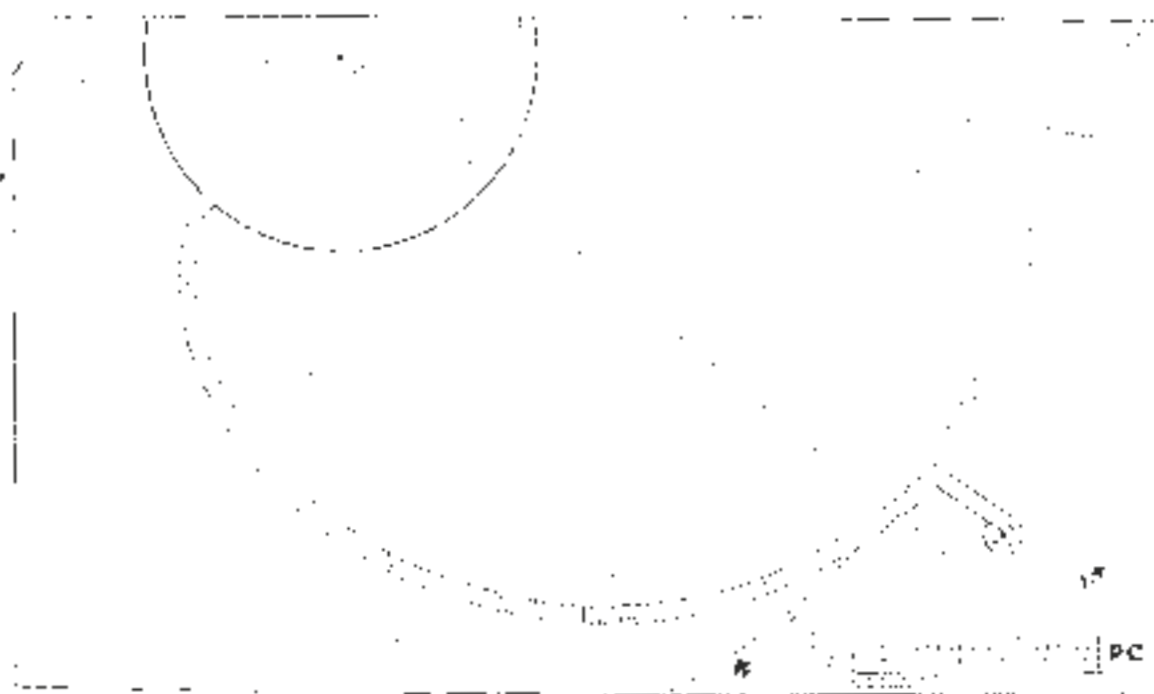
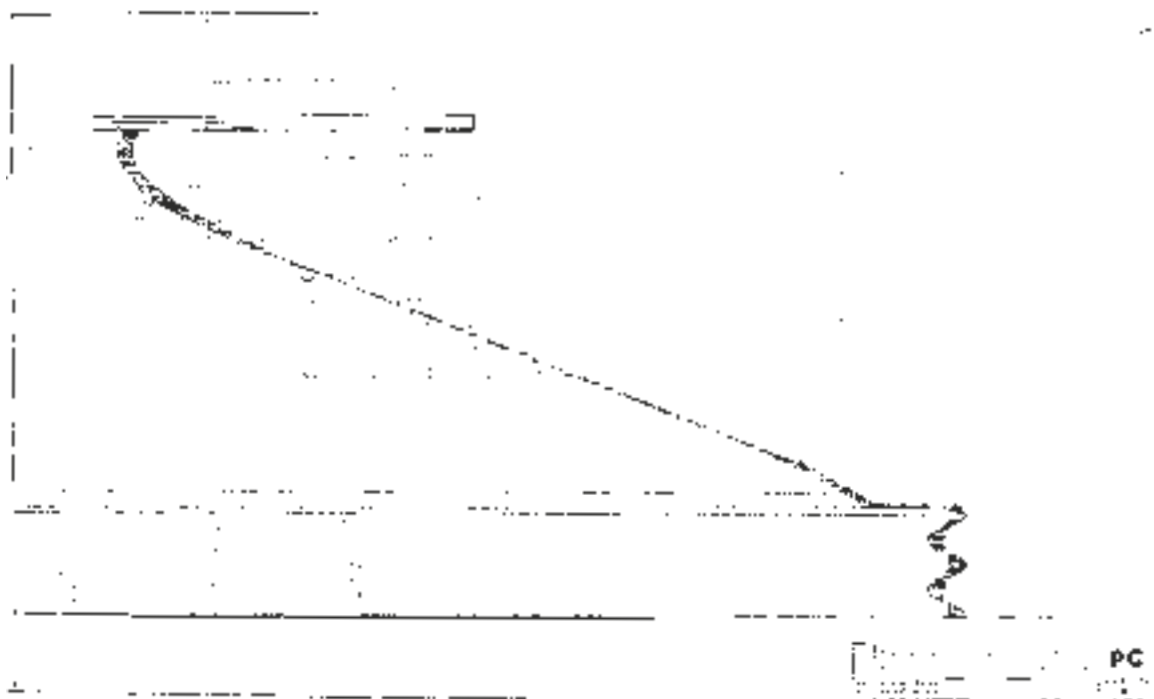
$$= \frac{1}{2}(\gamma_1 + \gamma_2) =$$
[illegible]

ústica original. Memória descritiva, 17 março 1952.



Projeto de Acústica original. ST Philips, março 1952.
 N.º 1 Sonorização total da sala, Programa a partir das cabines.
 N.º 4 Som a partir da sala.
 Projeção do som em corte.

Projeto de Acústica original. ST Philips, março 1952.
 N.º 2 Som a partir do solo.
 Sonorização total da sala por colunas sonoras.
 Corte geral do espaço mostrando a emissão do som no palco central.



1. Introdução

No âmbito do projeto de renovação do Pavilhão dos Desportos, que teve início em 2008 e conclusão em 2011, a Câmara Municipal do Porto adjudicou o Projeto de Execução de Arquitetura e as restantes especialidades ao gabinete de arquitetura GALP. O GEG foi por sua vez contratado por este gabinete para a elaboração do Projeto de Execução de Estruturas da intervenção de Renovação e Flexibilização do Palácio de Cristal.

O envolvimento foi profundo e significou uma total dedicação a este projeto ao longo de largos meses. A missão era de grande importância e responsabilidade tratando-se da oportunidade única de colaborar com o arquiteto José Carlos Loureiro na reabilitação do seu projeto mais emblemático.

O âmbito do projeto original foi entretanto profundamente revisto mas a necessidade de preservar e prolongar a vida desta estrutura que completa este ano 65 anos de existência é uma obrigação que decorre do facto de ser um ícone da cidade do Porto e um edifício com um elevado valor intrínseco.

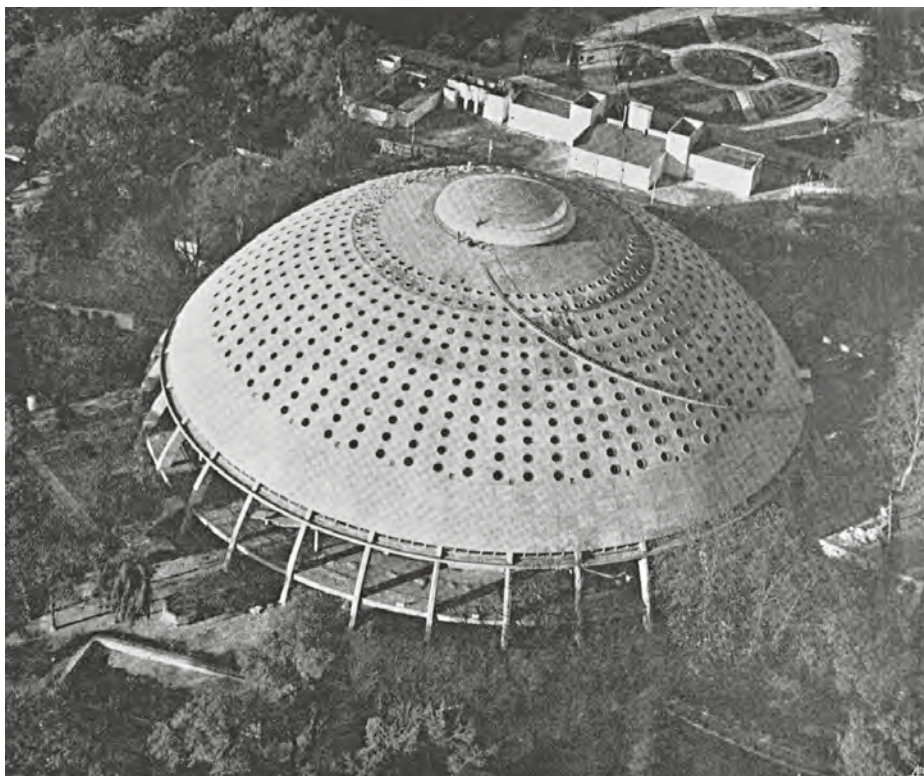


< Projeto de Arquitetura original. Escada de acesso à cúpula, alçado [1951]. Arquivo José Carlos Loureiro. © Fundação Marques da Silva. Cota: FIMS/JCL/0005-pd0008

< Projeto de Arquitetura original. Escada de acesso à cúpula, planta [1951]. Arquivo José Carlos Loureiro. © Fundação Marques da Silva. Cota: FIMS/JCL/0005-pd0007

Vista atual do Pavilhão dos Desportos.

Finalização da construção da cúpula posterior a 1954 mas ainda sem o revestimento em cobre instalado em 1959.



2. Projeto

Descrição geral da estrutura existente

A estrutura que é objecto de intervenção é um edifício de excepcional interesse e valor patrimonial. O atual Pavilhão Rosa Mota, originariamente designado Pavilhão dos Desportos, foi inaugurado em 1952 para receber o Campeonato do Mundo de Hóquei tendo acolhido o evento ainda sem a cobertura estar concluída. Este edifício icônico foi construído ocupando o espaço do marco anterior: um Palácio de Cristal datado de 1865 inspirado no original de Londres, que foi demolido. O edifício denota o talento dos seus criadores: o arquitecto José Carlos Loureiro e os engenheiros de estruturas A. Santos Soares e J. Delgado de Oliveira.

O amplo recinto coberto tem uma área utilizável, no piso principal, de 6500 m² e a capacidade para acomodar 5000 espectadores sentados em bancadas desmontáveis e foi construído para receber competições desportivas, exposições e outros eventos.

Trata-se de uma estrutura em betão armado com configuração circular em planta com um diâmetro de 90 m suportada por 32 pórticos radiais. O edifício é formado por um piso enterrado, o piso da arena (laje à cota 3.30 m) e quatro galerias elevadas além da cúpula de cobertura. As galerias estão apoiadas no pilar interior do pórtico triangular.

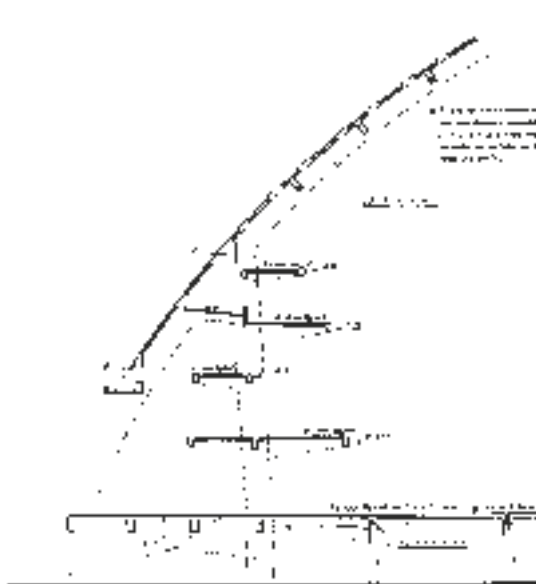
A cerca de 1/3 do desenvolvimento dos arcos estes encontram-se com pilares de inclinação contrária que dão apoio as galerias de acesso. A estrutura de apoio às galerias é assim constituída por 32 pórticos, cujo principal elemento estrutural é um pilar inclinado com 55 cm por 130 cm de secção transversal, afastados entre si de cerca de 8,0 m e onde se apoiam as vigas consolas radiais do piso 2 com largura de 45 cm e altura variável entre 105 cm junto ao pilar e 55 cm na extremidade. A ligar os pilares existem vigas circunferenciais. No extremo das vigas consola estão apoiadas vigas circunferenciais de bordo com secção trapezoidal e com dimensões aproximadas de 30 cm por 55 cm. A laje das

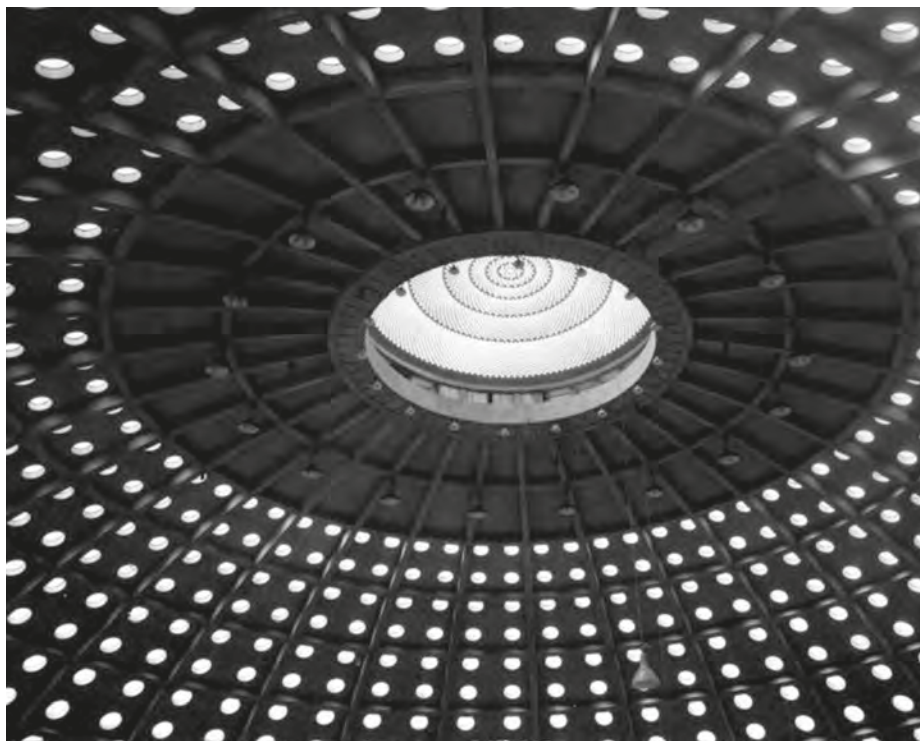
galerias com 25 cm de espessura está entre as vigas circunferenciais de bordo e as centrais ligando os pilares.

A característica principal do edifício é a cobertura em forma de cúpula nervurada revestida a folha de cobre, que lhe confere a característica cor verde

A cúpula é constituída por panos de laje maciça armada em duas direções (com espessuras que variam entre 5 a 8 cm) tendo alguns desses panos de laje quatro aberturas circulares permitindo a entrada de luz. Estas lajes apoiam-se em 32 vigas radiais – os meridianos – e 8 vigas de planta circular – os paralelos. A cúpula liga-se à restante estrutura pela extremidade do pórtico triangular ou pórtico de encontro. No centro existe uma abertura de 13,40 m delimitada por um anel de grande rigidez que suporta também uma pequena cúpula de “betão translúcido”.

As lajes de piso são armadas em duas direções tendo 25 centímetros de espessura e são apoiadas por uma





< Projeto de Estruturas original. Esquema de sobrecargas, [1951].

Interior da cúpula com o detalhe em betão translúcido, 1991.

Betonagem da cobertura, 1954.

grelha de vigas. As lajes são pré-fabricadas aplicando uma tecnologia conhecida como sistema *Stahlton* que foi desenvolvido no Reino Unido em 1950. O sistema consiste no uso de elementos cerâmicos extrudados de elevada resistência com sulcos formados na superfície superior que alojam o reforço longitudinal (fios de pré-esforço) que são ligados por uma argamassa rica de cimento aos tijolos da prancha. Como a figura mostra a laje é aligeirada pela incorporação de tijolos ocos especiais, de 20 cm de altura, sobre os quais se encontra uma camada com 5 cm de espessura. Para localização da armadura transversal, cada tijolo foi truncado numa das suas extremidades permitindo assim a formação de nervuras que alojam armadura de aço corrente.

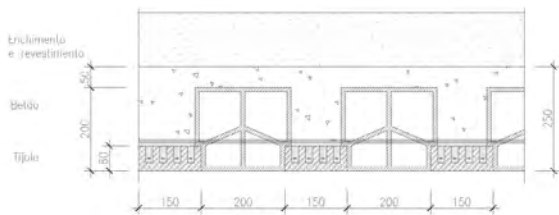
A laje do piso 1, à cota 3,3 m, é dividida em 9 corpos por juntas de dilatação, uma é circular e define o palco central e as outras 8 são radiais e foram materializadas sem duplicação de elementos estruturais. As galerias de acesso acima do nível 3,3 m são suportadas pelo pilar

principal do pórtico triangular. Dos pilares centrais partem vigas radiais em consola que estão ligadas entre si por vigas circunferenciais nas extremidades. As galeiras também estão divididas por oito juntas de dilatação radial que existem ao longo de todos os pisos excepto na cúpula.

As fundações de todo o edifício são diretas e realizadas por sapatas.

Plano de inspeção

A implementação do Plano de Inspeção juntamente com a recolha de elementos do projeto original bem como de testemunhos do processo construtivo, nomeadamente fotografias históricas, foram um trabalho de investigação determinante no estudo do estado atual da estrutura. Este trabalho permitiu calibrar modelos de cálculo para adequadamente representar a estrutura existente e avaliar o impacto das alterações que se pretende



Esquema da laje "Patial".

Fotografia da construção da laje, 1952.

implementar e determinar a intervenção necessária de reforço e conservação da estrutura existente.

Junto da Câmara Municipal do Porto foi possível obter a cópia dos projetos de arquitetura e estruturas original. Reveste-se de excepcional interesse a memória descritiva e desenhos onde são explicitadas as ações consideradas, a filosofia de cálculo e o dimensionamento estrutural de alguns elementos.

Com base na informação recolhida complementada pelo plano de Inspeção Estrutural foi feita a primeira abordagem à capacidade resistente da estrutura atual e à eventual necessidade de execução de reforços pontuais para suportar cargas adicionais.

Foram realizados ensaios dinâmicos e estáticos in situ (pelo ViBest, Labest e LESE) que permitiram estimar o comportamento da estrutura existente quando sujeita a novos carregamentos.

Foi ainda realizada uma campanha de prospecção geotécnica, que permitiu estimar as condições geotécnicas

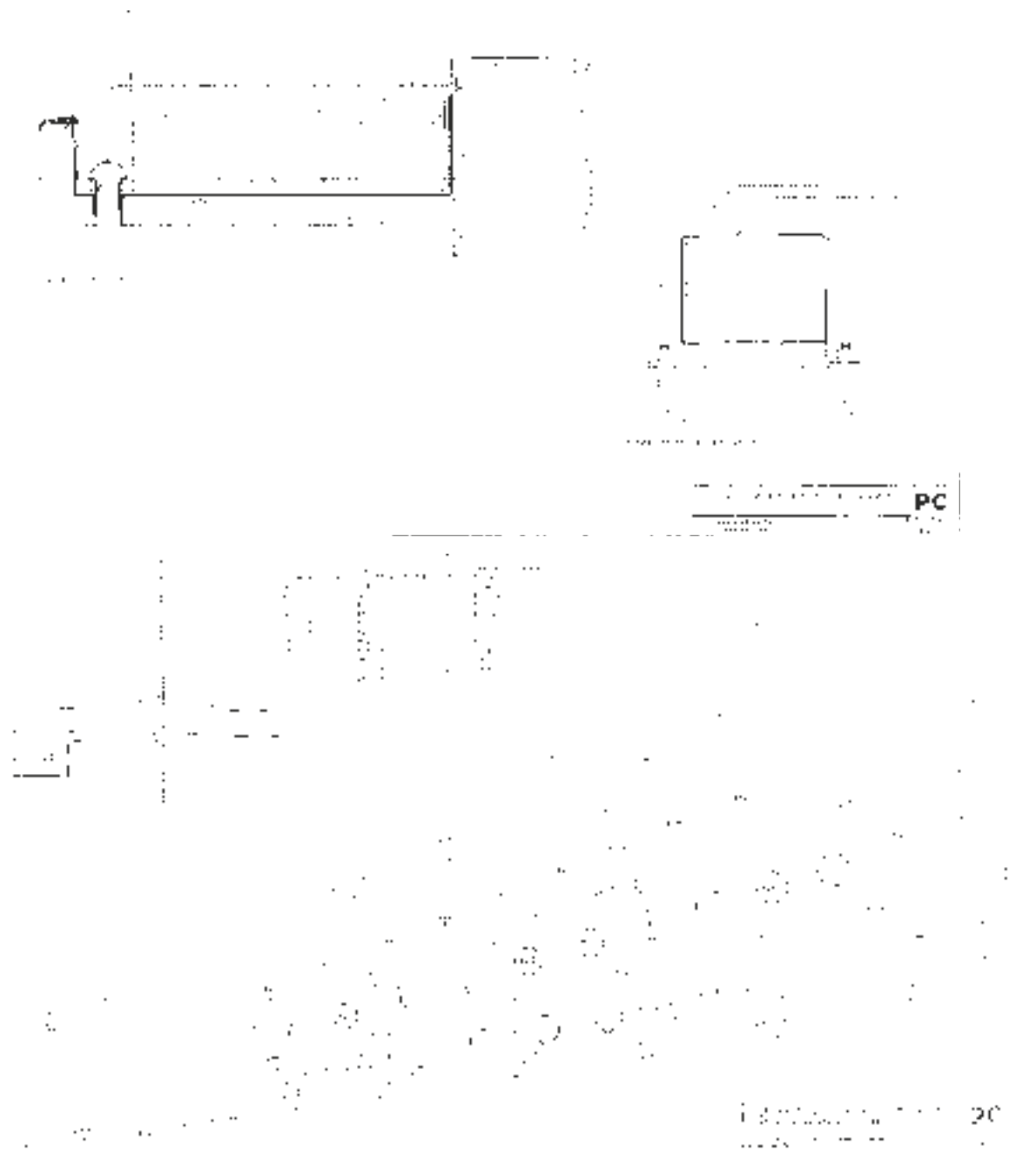


Fotografia da cobertura na atualidade.



Projeto de Arquitetura original. Projeto de execução, desenho da caixilharia dos círculos da cúpula, [1951].

Imagens da execução dos trabalhos de inspeção, 2010.



Projeto de Arquitetura original. Projeto de execução. Detalhes da cobertura. Algeroz e tubo de queda, [1951].

Projeto de Arquitetura original. Projeto de execução. Planificação de um setor da cúpula, [1951].

do solo adotadas no dimensionamento das fundações.

Tratando-se de um edifício construído há já mais de 50 anos e correspondendo a época da sua construção a uma fase em que a execução de obras em betão armado desta dimensão estavam ainda em fase de afirmação, torna-se essencial proceder à sua inspeção estrutural e levantamento de alterações e patologias.

Foi realizado um plano de inspeção estrutural seguindo as orientações do ACI (*ACI 364-1 Guide for Evaluation of Concrete Structures before Rehabilitation*) e CEB (*CEB 243. Strategies for Testing and Assessment of Concrete Structures*) e cuja implementação permitiu caracterizar o atual estado da estrutura. No plano de inspeção a laje central do piso 1, delimitada pelo eixo F, não foi contemplada já que, numa fase inicial, se previa a sua demolição.

A dimensão e altura dos elementos a inspecionar impôs a mobilização de equipas e de meios especiais para a sua realização. Além da observação de toda a estrutura foram também realizados ensaios não destrutivos, sondagens exploratórias e ensaios laboratoriais visando a caracterização dos materiais.

Complementarmente foram realizados ensaios dinâmicos e estáticos pelos laboratórios da FEUP ViBest, LABEST e LESE, que permitiram avaliar o comportamento de zonas da estrutura existente quando sujeita a novos carregamentos.

Foi também realizada uma campanha de prospecção através de poços para averiguar as dimensões das fundações existentes e condições que permitiu induzir as condições geotécnicas do solo onde foram realizadas as fundações.

Ensaios de caracterização dos materiais

O plano de ensaios concentrou-se na obtenção de informação sobre a capacidade resistente do betão e das características de deformabilidade das armaduras e dos betões, no sentido de permitir avaliar o estado atual da capacidade resistente estrutural.

O plano de ensaios teve ainda como objectivo avaliar o estado de corrosão da estrutura existente tendo em consideração as ações ambientais a que a estrutura se pressupõe ter estado sujeita desde a sua construção e analisar a durabilidade remanescente com vista e permitir estabelecer as condições de exploração para os próximos anos.

Os ensaios de resistência em compressão foram realizados em amostras cilíndricas obtidas de carotes e com base nestes resultados foi possível determinar as classes de resistência atual. Contudo nos cálculos envolvendo a estrutura existente consideraram-se os valores característicos da resistência afetados do coeficiente de segurança de 1,5.

As características determinadas em 3 provetes de armaduras recolhidos na estrutura (entre os pisos -1 e 0) permitiram igualmente aferir a resistência do aço utilizado.

Pode-se referir, de acordo com o *Relatório de acompanhamento dos ensaios de caracterização das propriedades dos materiais* que o bom estado de carbonatação e a pouca profundidade que atinge na estrutura evidencia que o risco de corrosão das armaduras é pouco elevado. Segundo este o estado de carbonatação dos betões apresenta-se bastante bom, não se evidenciando profundidades sequer aproximadas dos valores das medições do recobrimento das armaduras, pelo que o estado de passivação das armaduras pelo betão será excelente.

Estas conclusões são apenas válidas para a manutenção do estado de humidade da estrutura. Por esta razão se reitera, que estas proteções devem ser tidas devidamente em conta no projeto de remodelação uma vez que desempenharam e desempenham um papel fundamental na durabilidade das estruturas.

Verificou-se nos ensaios efetuados que o betão apresenta características mecânicas (resistência e rigidez) baixas, mas que ainda assim se encontra muito pouco ou mesmo nada afetado pelas agressões ambientais, mantendo a sua capacidade resistente e de proteção às armaduras, sempre que existe recobrimento adequado. Observa-se, no entanto, que quer devido a algumas deficiências de execução, quer devido à redução do recobrimento pelo acabamento bujardado aplicado ainda na fase inicial da obra, essa capacidade de proteção foi afetada. Dos ensaios realizados, pode-se concluir também que o aço empregue na obra tem características mecânicas (resistência e rigidez) inferiores ao aço atualmente utilizado.

Muitas destas anomalias encontravam-se ocultas pelos revestimentos superficiais sendo que os elementos estruturais mais expostos, sobretudo os exteriores, vieram a revelar-se condicionantes da avaliação

efetuada. Acresce a deficiente proteção atualmente conferida pelos materiais de isolamento da cobertura, que permitem a passagem e acumulação de água em quantidade significativa.

Com base na informação obtida foi desenvolvido um projeto de reabilitação e reforço da estrutura, já que se concluiu ser viável a sua reabilitação e prolongamento da vida útil.

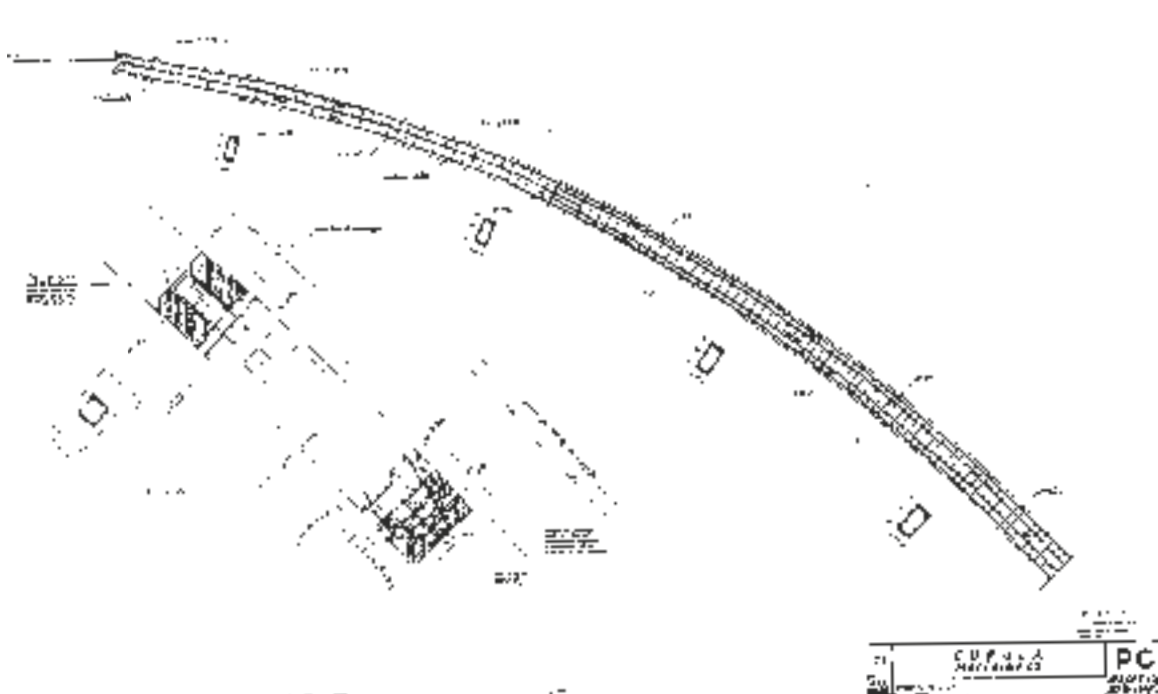
Ensaios de caracterização da estrutura

Ensaios estáticos na viga em consola

O Ensaio de carga estática numa viga consola consistiu, sumariamente, em instrumentar a consola a estudar e o pilar de apoio, assim como 2 consolas vizinhas e aplicar uma carga conhecida na sua extremidade e a meio do vão.

A viga consola de secção variável que apoia a galeira do piso 2 (eixo 25) foi sujeita a 3 ensaios de carga tendo sido monitorizados os deslocamentos verticais a meio vão e na extremidade assim como nas duas consolas vizinhas. Foram também monitorizadas as rotações na extremidade, no pilar acima da consola e na secção de encastramento onde a consola se insere no pilar; as extensões na face inferior e na face lateral junto ao apoio no pilar e ainda a temperatura ambiente no interior e no exterior. A carga aplicada também foi conhecida pelas leituras obtidas da célula de carga.

- Ensaio 1 - Carga até 120 kN na Extremidade da Consola
- Ensaio 2 - Carga até 160 kN na Extremidade da Consola
- Ensaio 3 - Carga até 310 kN a Meio da Consola



Projeto de Estruturas original. Projeto de execução. Cúpula - Meridians, [1951].

Foi possível observar uma resposta aproximadamente linear da estrutura com a variação de carga. Pode assim concluir-se, nas condições de ensaio, que a viga em consola no piso 2 do eixo 25 apresentou um comportamento resistente íntegro e conforme o esperado para o carregamento a que foi sujeita. Foi necessariamente tido em devida conta que apenas foi testado um exemplar do conjunto de 32 vigas em consolas existentes no piso 2.

Ensaio dinâmico na viga em consola

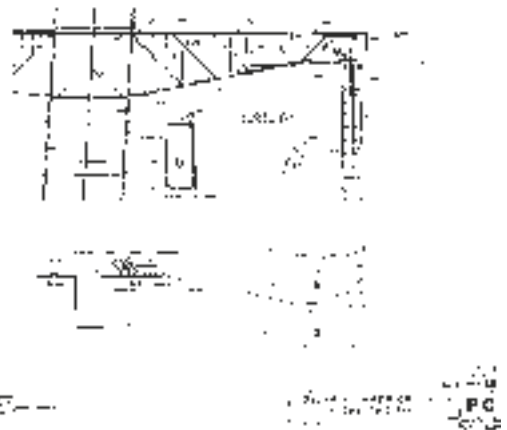
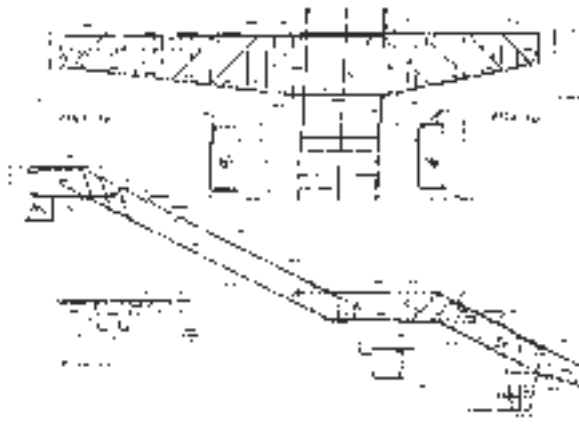
Os Ensaio Dinâmico desenvolvidos envolveram os seguintes tipos de testes de natureza complementar:

- Ensaio de Vibração Ambiental, destinados a identificar com maior precisão as frequências naturais mais baixas, na gama 0-10 Hz;

Ensaio de Vibração Forçada, baseados na utilização de um martelo de impulsos e de um excitador eletro-dinâmico, destinados a:

- identificar parâmetros modais relativos a frequências naturais mais elevadas;
- identificar coeficientes de amortecimento modais através da resposta em vibração livre motivada pela paragem súbita da excitação em ressonância.

Os ensaios dinâmicos realizados sobre a estrutura do pavilhão, antes e depois do Ensaio de Carga Estático da viga em consola, envolveram: (i) um Ensaio de Vibração Ambiental (EVA) considerando diversos pontos de medida a vários níveis na vizinhança do Pórtico 25 (entre os pórticos 23 e 27); (ii) um Ensaio de Vibração Forçada (EVF), mediante a aplicação de ações impulsivas



Localização da instrumentação de monitorização da estrutura.
Projeto de Estruturas original. Projeto de execução. Galeria interior à cota 2,07 m. Vigas V9 e V12, [1951].

Ensaio de carga com blocos de pedra na laje do piso 1.

sobre a consola do piso 2 em correspondência com o Pórtico 25 ou em pontos da laje em consola a esse nível entre o Pórtico 25 e os pórticos adjacentes; e (iii) um Ensaio de Vibração Forçada excitando o Pórtico 25 ou a laje daquele nível através de um excitador eletro-dinâmico e induzindo uma resposta em vibração livre por paragem súbita do excitador.

Evidenciou-se que a estrutura do pavilhão é complexa e com um número muito elevado de modos de vibração, com frequências naturais muito próximas, em resultado em particular das suas características de simetria axial. Além disso deve ter-se em conta que os amortecimentos modais medidos resultaram de níveis de excitação introduzidos muito baixos, à excepção da laje quando em ressonância para a frequência de 22 Hz, sendo habitual os amortecimentos aumentarem com os níveis de oscilação. Por último, realça-se ter sido muito ténue a variação de frequências naturais observada na sequência da realização do Ensaio de Carga Estático.

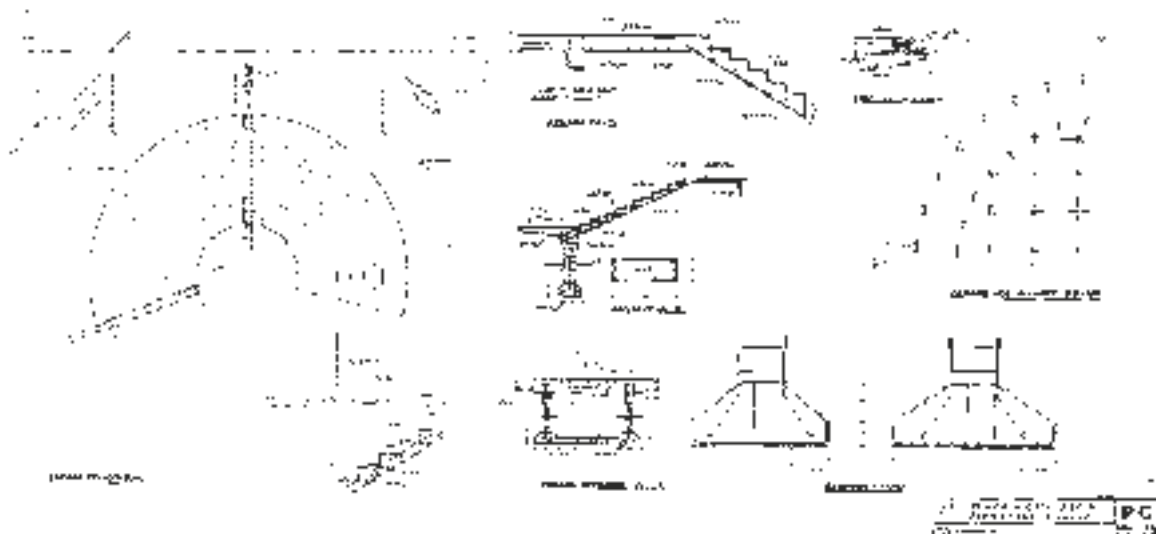
Estes ensaios permitiram assim assegurar que a estrutura existente não é vulnerável aos efeitos da excitação dinâmica que possa vir a ser induzida pelos utilizadores das bancadas já que as frequências próprias dos modos locais estão fora da gama de frequências susceptíveis de

serem excitadas. Por outro lado verificou-se que as propriedades modais se mantêm não havendo degradação de rigidez sensível pela introdução das cargas de serviço, conforme já se havia comprovado nos ensaios estáticos.

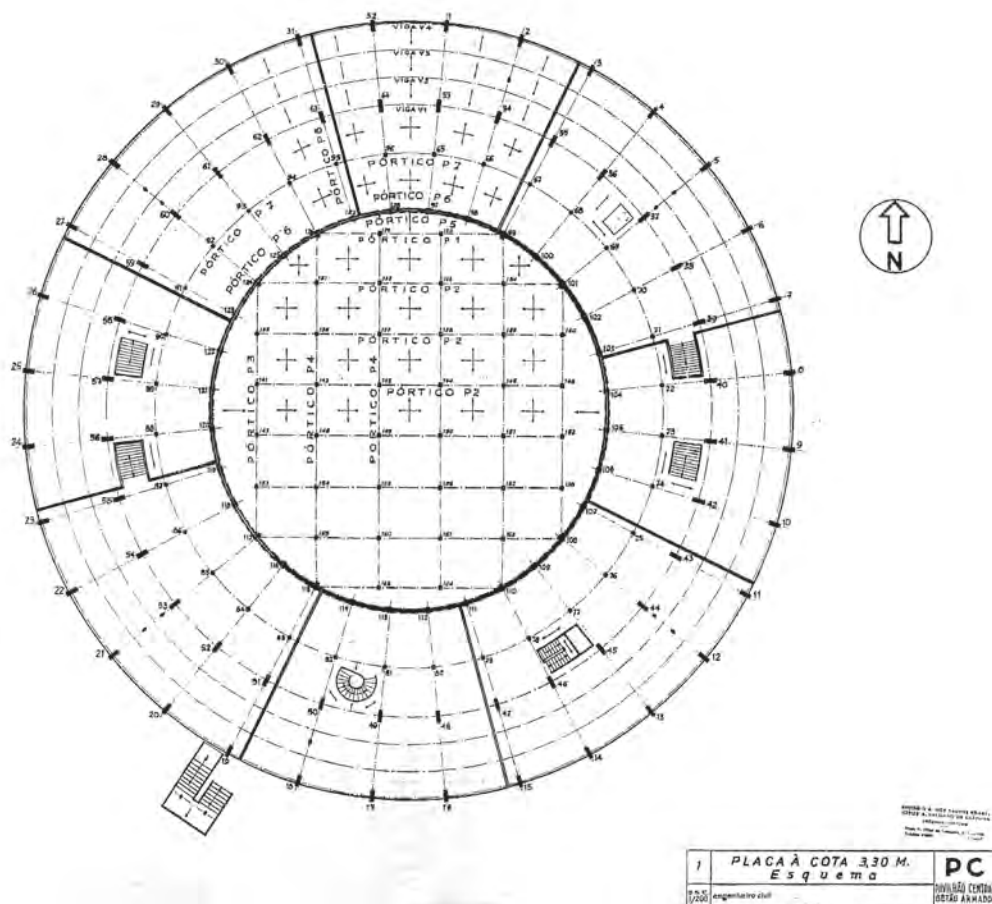
Ensaio estáticos no piso do piso 1

A realização de ensaios de carga nas lajes e vigas do piso do piso 1 do Pavilhão teve como objectivo a avaliação do comportamento estrutural e determinação da capacidade resistente da estrutura do piso face às ações a que ficará sujeita após a requalificação do pavilhão. Em função dos resultados obtidos, os ensaios permitem concluir de forma fundamentada sobre a possibilidade de manutenção da estrutura, a necessidade de reforço ou a sua demolição. Nesse sentido, os ensaios foram planeados e executados em número e localização suficientes de forma a serem representativos do comportamento global da estrutura, tendo envolvido cargas representativas das ações futuras tanto em tipologia (ações concentradas e distribuídas) como em nível de solicitação.

Os ensaios de carga realizados diferiram em alguns aspectos relativamente ao inicialmente solicitado essencialmente por razões que estiveram associadas à análise



Projeto de Estruturas original. Projeto de execução. Placa à cota 3,37 m. Elementos diversos, [1951].



dos resultados, que se foram obtendo nos sucessivos ensaios, que permitiram concluir que os revestimentos da laje tinham um papel fundamental no bom comportamento estrutural dos elementos solicitados, eliminando-se assim a necessidade de algumas tarefas inicialmente previstas.

Foram realizados ensaios de carga distribuída em dois painéis de laje da arena e num painel do corredor de acesso, bem como ensaios de carga concentrada numa laje e numa viga. As cargas distribuídas foram materializadas através de paletes com pedras de granito devidamente pesadas e posicionadas, enquanto as cargas concentradas foram impostas através da atuação de um macaco hidráulico, tendo a estrutura sido monitorizada nos pontos críticos das lajes e vigas permitindo uma leitura contínua da instrumentação colocada.

Analisando globalmente os resultados dos ensaios de carga, conclui-se que a estrutura do piso 1 do Pavilhão apresenta um bom comportamento face às ações impostas, representativas da solicitação a que ficará sujeita após a requalificação do pavilhão. Os painéis de laje e vigas ensaiados permaneceram globalmente em regime linear elástico, exibindo deslocamentos muito reduzidos

com deformações residuais após os ensaios não significativas, à exceção do ensaio 5 onde para a carga prevista se torna necessário o reforço daquela estrutura porticada bem como das suas fundações.

Este bom comportamento estrutural face às elevadas cargas impostas deve-se, naturalmente, a uma estrutura projetada para resistir a ações consideravelmente altas, mas também à contribuição da camada de enchimento de betão existente sobre o piso 1 que trabalha em conjunto com a estrutura, aumentando a sua altura útil e degradando as cargas atuantes, conferindo assim um aumento significativo da resistência e da rigidez. É esta contribuição dos enchimentos que explica a resposta globalmente elástica da estrutura para ações consideravelmente superiores às do projeto original.

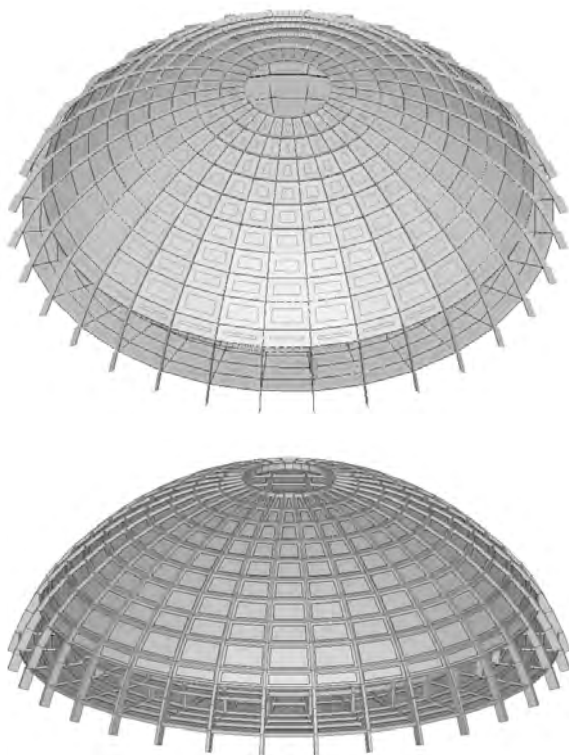
Na perspectiva da requalificação do Pavilhão Rosa Mota, considera-se que os resultados dos ensaios de carga justificam inteiramente a opção pela manutenção da estrutura existente, com eventuais reforços pontuais relacionados com os resultados do ensaio 5 de carga concentrada na viga do corredor de acesso.



em estrutura metálica. A solução estrutural adotada passa por pórticos instalados sempre que possível sob os alinhamentos radiais, pórticos da estrutura existente, com treliças a vencer o vão entre estes que dão forma aos degraus da bancada.

O primeiro nível, bancada sobre o piso 1, apresenta uma configuração em planta em forma de “ferradura” com cinco vomitórios sendo que 3 dos quais dão acesso direto à arena.

O segundo nível de bancadas, sob a consola do piso 2, apresenta uma configuração em planta circular ocupando todo o perímetro do piso e apresentando 2 configurações distintas de bancada, camarotes e bancadas para público em geral. Esta solução obriga à introdução de dois apoios na consola do nível do piso 2 e uma ligação articulada ao pilar do eixo E. A capacidade da consola para suportar esta carga foi avaliada com recurso a um ensaio de carga estático.



Proposta de intervenção. Modelos numéricos da estrutura do Pavilhão utilizados na análise, 2010.

Proposta de intervenção. Esquema de reforço do paralelo 1 da cúpula, 2011.

O último nível de bancadas, sobre a consola do piso 3, apresenta também uma configuração em planta circular ocupando grande parte do piso, é interrompida nas zonas de imprensa.

Suspensão da teia técnica

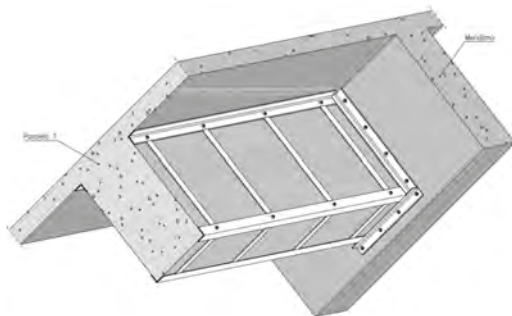
Com base na interpretação dos dados existentes do projeto original foi realizado um modelo global da estrutura de forma a estudar o seu comportamento. Foi assim possível conhecer o comportamento atual da estrutura que serviu de referência para a análise do impacto das alterações da intervenção a realizar quer pela introdução de cargas ao nível dos pisos quer pela suspensão de equipamentos como a teia técnica (GRID).

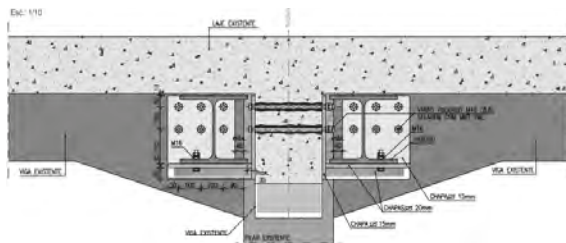
Considerou-se, na situação atual, as ações das sobrecargas, das cargas permanentes (estimadas com base no plano de inspeção) e do vento.

Foi posteriormente estudado o comportamento da cúpula do pavilhão face às cargas introduzidas pela inserção da teia técnica para suporte de equipamentos de apoio a espetáculos. A manutenção do estado de tensão será a opção estrutural mais aconselhável, pelo que desvios aos valores atuais implicaram o recurso a reforços estruturais, ainda que localizados.

Reforço das lajes

A alteração das ações pela introdução de novas cargas por parte da bancada e a necessidade de abrir negativos nas lajes levou à necessidade de verificar o impacto destas na estrutura existente, tendo-se concluído pela





O enchimento atual não reflete as juntas de dilatação existentes na estrutura o que origina algumas patologias. Neste novo enchimento propõem-se a realização de juntas de retração (com 35 mm de profundidade) mas também não se prevê a realização de juntas de dilatação. Isto justifica-se pela necessidade operacional do piso (atravessamento de infraestruturas e garantia de estanquidade do tecto do piso 0) e, por outro lado, porque não parecem existir (excepto na zona exterior e pisos superiores) movimentos significativos nestas juntas.

Está já prevista a realização de ensaios de carga de recepção da obra que visam:

- garantir que a intervenção a que a laje será sujeita não diminuiu a sua resistência
- ensaiar uma área mais alargada que seja representativa de todas as situações e que permita determinar, sem reservas, que o espaço pode ser utilizado para as cargas pretendidas.

Reforço das fundações

Foi realizada uma campanha de prospecção através de poços para averiguar as dimensões das fundações existentes. As fundações dos eixos A e D, em geral, não foram alvo de estudo específico pois as suas condições iniciais não sofreram alteração substancial que justificasse a sua reavaliação.

Da análise das memórias descritivas constatou-se que as fundações originais foram dimensionadas para uma tensão admissível não superior a 500 kPa, no entanto constatou-se que as sapatas dos alinhamentos do eixo E para o centro, efetivamente executadas apresentam uma dimensão em planta substancialmente menor o que resulta numa tensão instalada, para a mesma combinação, de aproximadamente 1000 kPa. Esta evidência agravada pelo aumento das cargas justifica a necessidade de reforço.

As dimensões das sapatas deverão ser confirmadas aquando da execução dos trabalhos de reforço ou reconstrução. A necessidade de reconstrução destes elementos prende-se com o facto de o rebaixamento proposto para o piso 0 se traduzir em que estes elementos ficam salientes em relação ao piso. Sempre que constituem um obstáculo optou-se pela sua reconstrução a uma cota inferior.

necessidade de introdução de reforços nos elementos estruturais, nomeadamente nos pórticos radiais.

Nos restantes pisos a necessidade de realizar negativos para passagem de infraestruturas originou a necessidade de reforçar diversos painéis.

O facto de todos os pisos serem realizados com elementos prefabricados que são pré-esforçados e com funcionamento predominantemente unidirecional, implica que os negativos sejam feitos sem afetar os estes elementos. Quando tal não acontece é inevitável recorrer a uma solução de reforço que normalmente é materializada pela instalação de um perfil metálico ligado à estrutura existente.

Reabilitação do piso 1

A utilização do piso 1 como arena e espaço multifunções implicam a instalação de uma grande quantidade de infraestruturas embebidas na atual camada de enchimento.

Importa sublinhar que se considera que as condições (de espessura total da laje) em que o ensaio desta laje foi realizado devem ser mantidas após a intervenção prevista ao nível do enchimento. A introdução de armadura superior irá beneficiar o comportamento assim como a remoção do material de menor qualidade, mas que não será necessária realizar de uma forma generalizada concentrando-se na área central esta operação. Também favorecerá o comportamento da laje uma melhor ligação entre betões através de dispositivos mecânicos apropriados.

Importa reafirmar que não se trata de uma camada de enchimento mas antes de uma segunda betonagem que irá embeber as infraestruturas na espessura da laje estrutural.

Proposta de intervenção. Esquema de reforço da laje do piso 1, 2011.

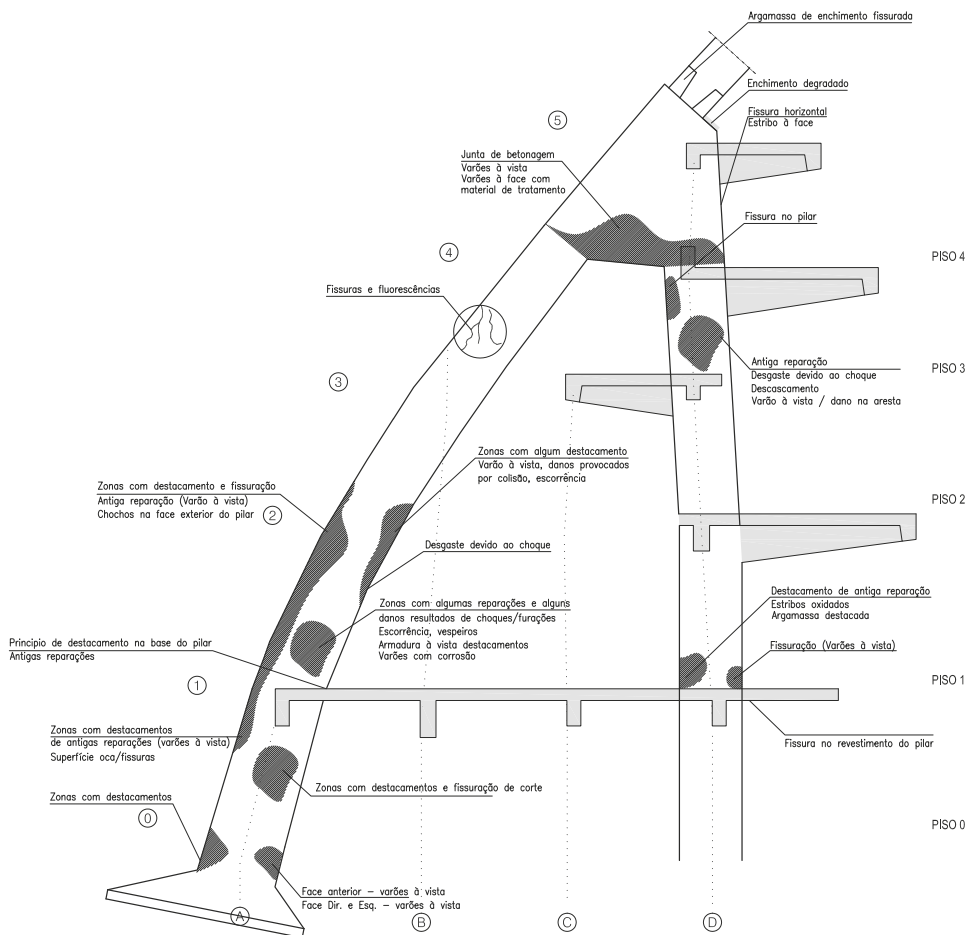
4. Projeto de reabilitação

Estrutura de betão armado

A abordagem da intervenção no Pavilhão dos Desportos tinha como um dos principais objetivos preservar a estrutura principal e prolongar a sua vida útil. O projeto de reabilitação estrutural assume assim natural importância estando previsto o tratamento das patologias existentes nos elementos de betão armado. Com base nas conclusões retiradas do Plano de Inspeção realizado foram determinadas as principais patologias e fundamentadas soluções para a sua reabilitação.

Como metodologia para a realização deste projeto seguiu-se a definida nos documentos “ACI - 364. IR-07 Guide for Evaluation of Concrete Structures before Rehabilitation” e “CEB 243. Strategies for Testing and Assessment of Concrete Structures” e segundo estas metodologias, foram desenvolvidas as seguintes atividades:

- **Justificação e âmbito da investigação** – memória descritiva;
- **Descrição da estrutura existente** – obteve-se a informação da localização, dimensões, história, detalhes estruturais e de arquitetura, fundamentada com



documentação, fotografias e referências;

- **Resultados de inspeção detalhada** – descrição dos métodos e equipamentos usados, descrição das patologias ou outros elementos estruturais que serão intervençcionados, com o apoio de fotografias e desenhos;
- **Amostragem e ensaios** – localização, metodologias e resultados dos ensaios e amostragens realizados. Os resultados visam indicar a adequação dos materiais e elementos estruturais testados;
- **Avaliação** – determinação da adequação da estrutura para o uso pretendido, através da análise de toda a informação reunida na documentação obtida anteriormente, investigação de campo, levantamento das anomalias e ensaios realizados; a avaliação pode e deve ser feita a vários níveis, apresentando-se um resumo destes vários aspectos, importantes na tomada de decisão da metodologia a seguir:

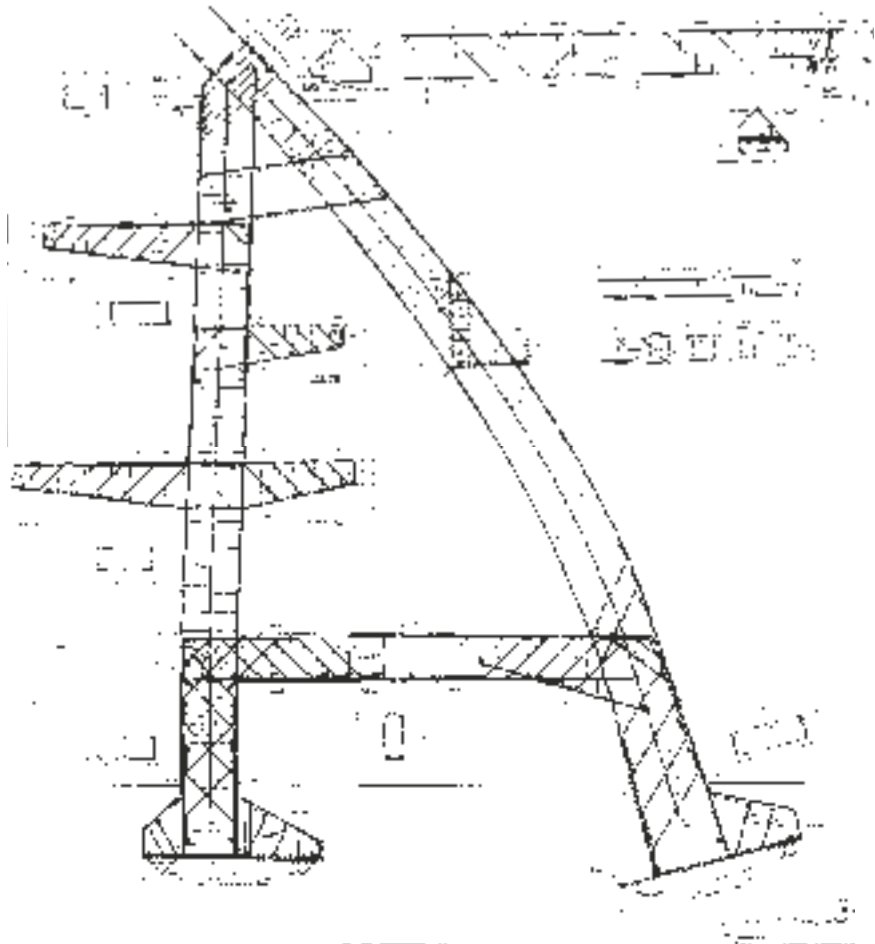
- _ Verificação da coerência entre o projeto do existente disponível e o que está realmente construído;
- _ Verificação das características dos materiais existentes; Identificação dos elementos que serão substituídos e caracterização dos materiais que os substituirão; identificação dos elementos a serem reparados e caracterização dos materiais que serão utilizados;
- _ Verificação do sistema estrutural: definição do sistema de cargas a aplicar; estrutura capaz de suportar as cargas definidas pela regulamentação.

No projeto pretende-se dar resposta às seguintes atividades da metodologia:

- **Proposta de intervenção para alcançar os objetivos propostos; medidas a tomar; projeto de intervenção;** Indicação e descrição das metodologias de reabilitação

< Patologias frequentes nos pilares dos alinhamentos A e D e articulações principais da cúpula.

Projeto de Estruturas original. Projeto de execução. Pórtico de encontro, [1951].



para alcançar os objetivos propostos, aplicáveis a cada patologia ou grupo de patologias;

Avaliação e estimativa de custos;

Foi necessário realizar uma estimativa global das intervenções a realizar com base em extrapolações para as áreas não inspeccionadas;

Manutenção após a reabilitação.

Aplicação das metodologias na reabilitação de estruturas de betão

No projeto agruparam-se as patologias apresentadas no Relatório de Inspeção Detalhada em famílias e definiram-se os esquemas de aplicação das atividades especificadas para cada família de patologia. São aqui mencionados os dois aspectos mais importantes – Pilares e Cúpula – sendo que o projeto de reabilitação compreende a totalidade da estrutura e uma vasta e detalhada definição dos trabalhos.

O projeto de Reabilitação foi elaborado de acordo com a norma NP EN 1504. Esta norma europeia NP EN1504 – Produtos e sistemas para a proteção e reparação de

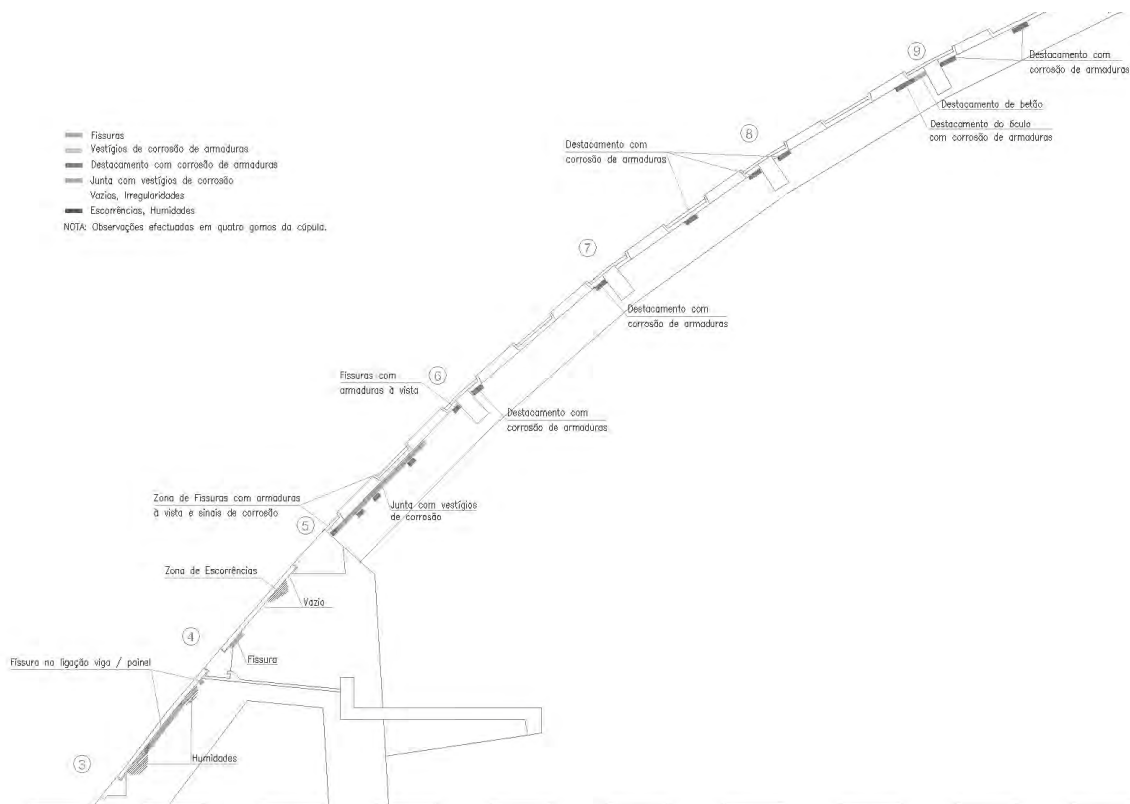
estruturas de betão – está em vigor em Portugal.

Pilares

Nos pilares do alinhamento A prevê-se a aplicação de um produto de proteção de armaduras com inibidor de corrosão e um sistema completo da proteção superficial do betão. Nos pilares do alinhamento D apenas se prevê a aplicação de pintura prevista pela arquitetura.

Segundo o Relatório de Inspeção Detalhada, os pilares do alinhamento A apresentam um grau de conservação 4, mau a muito mau. Verificou-se que o betão mantém a sua capacidade de proteção do aço, sempre que o recobrimento tem espessura suficiente para tal. Ora, observou-se também que, devido a deficiências na construção ou à redução do recobrimento (tratamento bujardado do betão), a capacidade de proteção foi amplamente perdida. Deste modo, surgiram graves e variadas patologias associadas à corrosão das armaduras.

A maior parte das patologias estão concentradas nas faces exteriores dos pilares, mais expostas às condições ambientais. Segundo os ensaios realizados nestes pilares, o betão apresenta baixa resistividade, o que conduz



a uma maior facilidade de penetração dos ingressos, e consequentemente a um Risco Moderado de Corrosão.

Motivo de preocupação e alvo de intervenção são também as articulações principais da cúpula acima no topo dos pórticos, onde além da agressão ambiental se verificam danos significativos causados pelo seu funcionamento estrutural em conjunto com a sua deficiente execução.

Cúpula

Os painéis de cúpula são de reduzida espessura (5 a 8 cm), o que facilita a ocorrência de muitas situações de reduzido recobrimento de armaduras.

Esse reduzido recobrimento teve, como consequência, que muitas armaduras se encontrem oxidadas, o betão fissurado ou mesmo delaminado. Esta situação agrava-se nos painéis que assentam sobre a viga do nível 5, onde a junta é uma causa de fissuração sistemática.

Foram realizados alguns ensaios para avaliação do estado de corrosão de armaduras e cujos resultados se encontram no Relatório de Inspeção Detalhada. Dos ensaios realizados nos painéis da cúpula destaca-se:

Nos ensaios de Potencial eléctrico de armaduras, que

permitem a identificação de zonas com maior probabilidade de corrosão, o Risco de Corrosão nos Painéis da Cúpula obtido foi de “Risco Incerto” e “Risco < 10%”, nos dois ensaios realizados.

Nos ensaios de Resistividade Eléctrica do Betão, obteve-se um Risco de Corrosão Moderado (10-50 KΩ.cm) em ambos os ensaios.

Pretendia-se, com esta avaliação, analisar e contabilizar os painéis a ser demolidos e reconstruídos. De facto, os painéis que se apresentem demasiado deteriorados, onde a corrosão das armaduras se prolongue em grande parte da sua extensão, ou caso a profundidade de carbonatação do betão seja elevada e cujo tratamento seja demasiado moroso, deverão ser demolidos e refeitos, respeitando-se o mesmo esquema de juntas. Este caso ocorrerá sempre que a área a demolir for superior a 50% da área total.

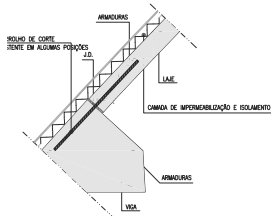
O processo construtivo será:

- Hidrodemolição;
- Limpeza e tratamento de proteção por revestimento das armaduras;
- Colocação de cofragem;
- Betonagem do painel.

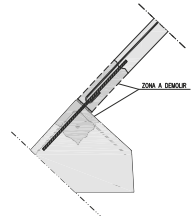
O tratamento da cúpula aplica-se às faces superior e inferior e deverá consistir:

- Remoção da pasta celulósica colada ao betão na face inferior do painel;
- Remoção da impermeabilização na face superior do painel;
- Remoção do isolamento térmico “betão de cortiça”;
- Remoção das caixilharias dos óculos;
- Observação e adaptação das soluções de reparação à realidade encontrada;
- Limpeza;
- Tratamento de proteção das armaduras, quando exista corrosão de armaduras ou armaduras à vista;
- Reposição da secção de betão, aquando uma patologia associada; injeção de fissuras; reposição da secção de betão;
- Tratamento de proteção de armaduras com inibidores de corrosão por migração, em toda a superfície;
- Tratamento superficial de proteção do betão com o Protetor cimentício elástico monocomponente, que

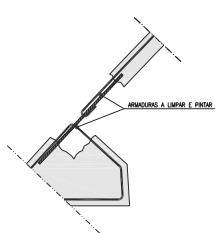
FASE 1 - REMOÇÃO DA CAMADA DE IMPERMEABILIZAÇÃO E ISOLAMENTO



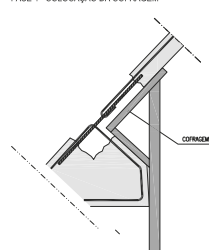
FASE 2 - HIDRODEMOLIÇÃO DA FAIXA DE LAJE ONDE EXISTE CORROSÃO NA ARMADURA



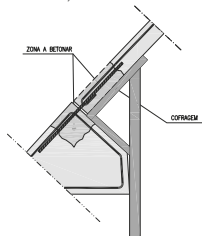
FASE 3 - LIMPEZA E PINTURA DAS ARMADURAS



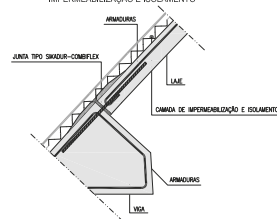
FASE 4 - COLOCAÇÃO DA COFRAGEM



FASE 5 - BETONAGEM DA LAJE - REMOÇÃO DA COFRAGEM



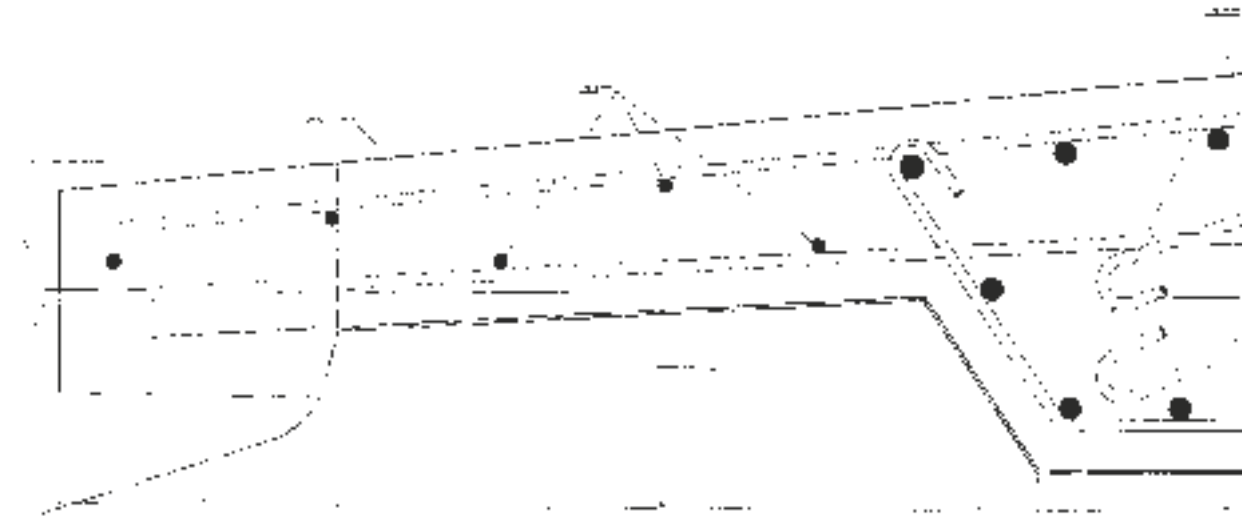
FASE 6 - RECONSTRUÇÃO DA JUNTA DE DILATAÇÃO - IMPERMEABILIZAÇÃO E ISOLAMENTO



< Patologias frequentes na cúpula até ao nível 9 (paralelo 4).

Proposta de intervenção. Esquema do faseamento construtivo de um trabalho de recuperação.

- Aplicação dos materiais definidos segundo o esquema de impermeabilização da cúpula, no projeto de arquitetura.



30

Como foi aqui descrito, tratando-se de um edifício construído faz agora 65 anos numa época em que a execução de obras em betão armado desta dimensão estavam ainda em fase de afirmação, é notável admirar como foi possível conceber e executar um edifício de grande qualidade com meios bastante mais limitados comparativamente com os actualmente disponíveis. Registe-se

ainda que neste edifício onde a arquitectura se expressa essencialmente no desenho da estrutura, esta tem vindo a cumprir com bom desempenho o papel que lhe foi confiado sendo agora necessário e urgente, com uma intervenção cuidada e fundamentada, assegurar as melhores condições para que a sua vida seja significativamente prolongada.

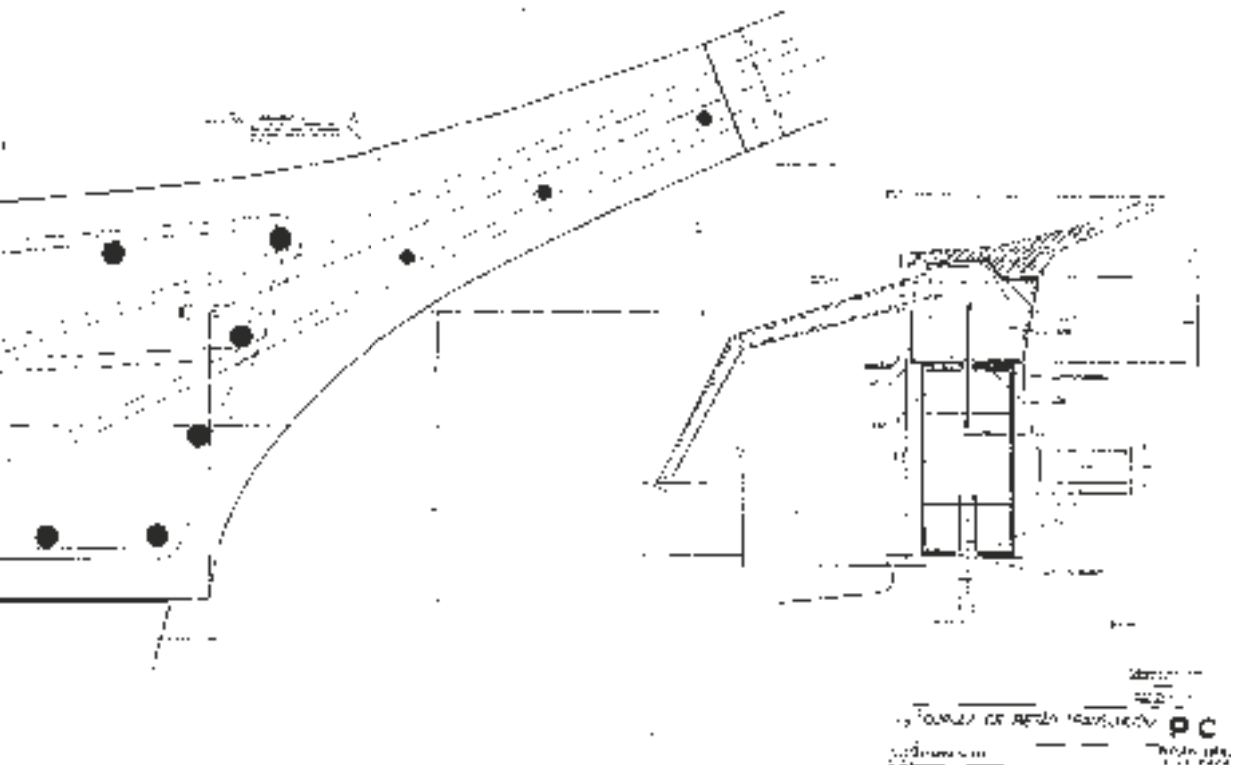
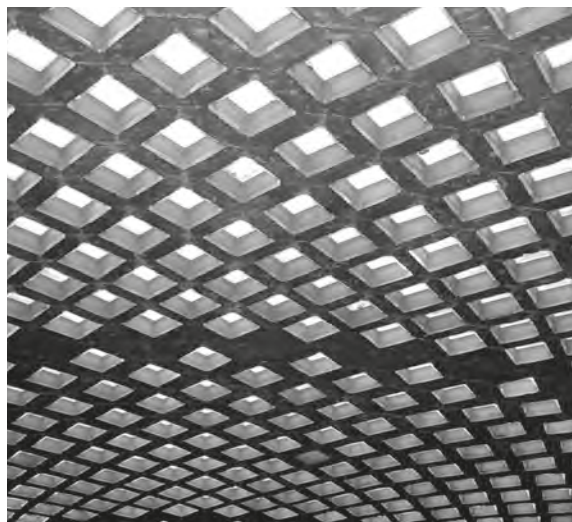
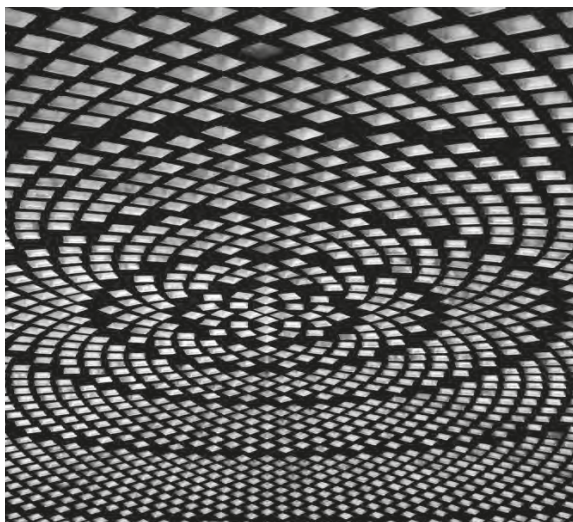




Imagem dos espaços exteriores, posterior a 1952. Fotografia de José Carlos Loureiro, s.d.. Arquivo José Carlos Loureiro. © Fundação Marques da Silva. Cota: FIMS/JCL/0005-Foto0004

