

The engineering of the new Coach Museum

Rui Furtado, Armando Vale, Paulo Silva, Bruno Henriques and Luis Oliveira

The project began in late 2008, following an invitation from the Portuguese Government to architect Paulo Mendes da Rocha. The goal was to inaugurate the Museum on 5 October 2010 as part of the centenary celebrations of the Republic. The New Coach Museum should ensure the preservation of Portugal's Coach Collection, and display it to an audience of about 1,000,000 visitors each year.

Paulo came to Portugal to see the site and learn about the Museum's programme, then returned to São Paulo. Two or three months later he returned to Lisbon to present his ideas – his concept for the Museum was based on the idea of a white “box” in which to keep the mostly Baroque “Treasure”, in itself profuse in ornamentation.

For the presentation of the Architectural Project, basically brought photographs of his working model, and great clarity as to what he intended to do:

1. The Museum space – raised off the ground, with workshops, a cafeteria and the entrance to the Museum on the ground floor;
2. An Annex, connected to the Museum via a bridge, housing the Museum's managerial offices and a restaurant above and an auditorium below;
3. A pedestrian walkway linking Rua da Junqueira to the Belém River on;
4. A car park – a continuous ramped silo – next to the Tagus, finishing off the pedestrian walkway;

The peculiar spatial arrangement of the buildings, with the aerial link between them, creates a portico that marks the entrance to the internal square, where the buildings on Rua da Junqueira form a new frontage, promoting their revitalisation in a reconstitution of what was once Rua do Calva da Alfandega. This arrangement highlights the relationship between areas of different heights enhancing the movement of passers-by, consolidating the restitution of the whole locale to the city, and strongly inviting a visit to the museum itself. This basically reflects what the Museum is, according to Paulo Mendes da Rocha's vision, a public place – “carefully protected and unexpectedly open”.

The Proposal was a response to the brief, but extended its scope, in a broad reading of the site and its potential and requirements, and favoured the creation of a qualified public space.

Except for the details, it is surprising how closely the initial proposal corresponds to the end result – only the raised walkway (its construction will start soon) and the car park silo (turned down by Lisbon City Council) are missing. All the rest is there, just as Paulo imagined from the start. A little smaller – for budget reasons – but the same spatial arrangement and siting as in the initial proposal. Throughout the process, there was no display of prima donna stubbornness nor was there the

need for any engineering speciality to be submitted – all the building's needs were covered by the simplicity of the original idea – basically, everything had been thought through!

In the 21st century, any building, but particularly one with the nature of the Coach Museum, whose purpose is to protect a unique Treasure and to provide the facilities to receive 1 million visitors annually, is a machine whose efficiency and success depend as much on how its various components fulfil their function (without prejudice to others) as on its ability to contain spaces capable of surprising and inspiring. This need requires that the Architectural and Construction solutions adopted simultaneously and equally meet the needs and demands of the various systems necessary for the proper functioning of the building.

Coming from Brazil – the land of “exposed concrete” – the building was envisaged as being made in concrete. However, considering the 50m-long spans, a very short construction deadline as it was then defined, the plot on which the building would be sited, the need to take seismic activity into account and the requirement to accommodate complex and demanding environmental control systems, a switch to a lightweight system of construction was suggested – a monolithic metallic structure, “anchored” in the centre and sliding in the peripheral supports, and with lightweight plasterboard walls.

The proposed system of construction arose as a complement to the architectural solution, allowing the mass of the building to be reduced and the cost of the foundations and vertical elements to be rationalised, while at the same time guaranteeing a minimal construction period. Meanwhile, due to various setbacks – availability of the land, the transfer of services that were installed on the site etc. – the deadline ceased to be a priority, though the other assumptions for the decision remained valid.

For the structure of the box, with longitudinal spans of 46m and transversal spans of 18m and 12m, the option was for a hyperstatic, redundant truss structure, with three-dimensional behaviour, taking advantage of the main structural elements such as the bracing elements in the main structures in the other direction and making the most of all the continuities and stress redistribution that it was possible to create, always looking for a high degree of simplicity of assembly.

The large longitudinal walls of the box house the main trusses, which take advantage of the full height of the building. It is along these walls that the main arteries for the distribution of services are located, linking the Museum's two technical areas, located in an open space at the ends of the upper level.

Figure 01 – Aerial view.

A engenharia do novo Museu dos Coches

Rui Furtado, Armando Vale, Paulo Silva, Bruno Henriques e Luis Oliveira



01

O Projeto iniciou-se no final de 2008, na sequência de um convite do Governo Português ao Arq. Paulo Mendes da Rocha. O objetivo era inaugurar o Museu no dia 5 de Outubro de 2010, fazendo parte das comemorações dos 100 anos da República. O Novo Museu dos Coches deveria assegurar a preservação da Coleção de Coches de Portugal, e a sua exibição a um público de cerca de 1.000.000 de visitantes por ano.

O Paulo veio a Portugal ver o local e inteirar-se do programa do Museu e regressou a São Paulo. Dois ou três meses depois voltou a Lisboa para apresentar as suas ideias – a sua conceção do Museu assentava na ideia de uma “caixa” branca para guardar o “Tesouro”, maioritariamente barroco, por si só profuso em ornamentações.

Para a apresentação do Projeto, o Arquitecto trazia basicamente fotografias da sua maquete de trabalho e uma grande clareza quanto ao que se propunha fazer:

1. O espaço Museológico – elevado do chão, contendo no nível 0 as oficinas, uma cafetaria e a entrada no Museu;
2. O Anexo, ligado ao Museu através de uma Ponte, onde se localiza a direção do Museu e um restaurante, num nível elevado, e um auditório, no térreo;
3. Uma passagem pedonal, ligando a Rua da Junqueira à Gare Marítima de Belém;
4. O estacionamento – um silo de rampa contínua – junto ao Tejo, rematando a Passagem Pedonal.

A peculiar disposição espacial dos edifícios, com a ligação aérea que considerava entre eles, cria um pórtico que marca a entrada para a praça interior, para onde se viram, numa nova frente, as construções da Rua da Junqueira, promovendo a sua revitalização numa reconstituição do que fora outrora a Rua do Cais da Alfandega. Realça-se nesta disposição a relação entre as áreas a diferentes cotas que dinamizam o movimento dos

passantes, consolidando a devolução à cidade de toda a área do lote, convidando de uma forma marcada à visita do próprio museu. Isto traduz no fundo o que é o Museu, segundo a visão do Arqt.º Paulo Mendes da Rocha, um lugar público – “rigorosamente protegido e imprevisivelmente aberto”.

A Proposta dava resposta ao programa mas alargava o seu âmbito, correspondendo a uma leitura abrangente do local e das suas possibilidades e exigências, e privilegiava a criação de um espaço público qualificado.

A menos de pormenores, surpreende como a proposta inicial corresponde ao resultado final – falta apenas a passagem superior (a sua construção iniciar-se-á em breve) e o silo automóvel – reprovado pela Câmara Municipal de Lisboa. Tudo o resto lá está, tal como imaginado pelo Paulo, logo no início. Um pouco mais pequeno – por razões orçamentais – mas com a mesma disposição espacial e implantação da proposta inicial. Ao longo do processo, não houve teimosias de primadona nem teve que haver submissão de qualquer especialidade – todas as necessidades do Edifício foram acolhidas com simplicidade pela sua ideia original – simplesmente, estava tudo pensado!

No Século XXI, qualquer edifício – mas particularmente um Museu com as características do Museu dos Coches – destinado a preservar um Tesouro único e tendo que assegurar a receção de 1.000.000 de visitantes por ano – é uma máquina cuja eficiência e sucesso dependem tanto da forma como as suas diversas componentes cumprem a sua função (sem prejuízo das outras) como da sua capacidade de conter espaços capazes de nos surpreender e inspirar. Essa procura impõe que a solução Arquitetónica e Construtiva a adotar atendam em simultâneo e em pé de igualdade às necessidades e exigências dos diversos sistemas necessários ao correto funcionamento do edifício.

Vindo do Brasil – a terra do “concreto aparente” – era em betão que o Edifício tinha sido imaginado. No entanto, ponderando os vãos de 50 m, um prazo de construção muito curto como o que então estava definido, os aterros onde o edifício iria ser fundado, as ações sísmicas a ter em conta e a necessidade de albergar sistemas de controlo ambiental complexos e exigentes, sugerimos a mudança para um sistema construtivo leve – estrutura metálica monolítica, “agarrada” no centro e deslizante nos apoios periféricos e paredes ligeiras, em painéis de gesso cartonado.

A solução construtiva proposta surge assim em complemento da solução arquitetónica, permitindo diminuir a massa do Edifício e otimizar o custo das fundações e dos elementos verticais, e, ao mesmo tempo, garantir a minimização do prazo de construção. Entretanto, por vicissitudes diversas – disponibilidade do terreno, transferência de serviços que estavam

Figura 01 – Vista aérea.

The Architect imagined the Annex as a covered building, half empty, in which the concepts of inner and outer are confused by the variety of views and environments that it creates. A portico structure of pre-stressed concrete supports two steel and glass boxes where the Management offices and a Restaurant are located. The Auditorium occupies a concrete box at the ground level.

The ramp that links Rua da Junqueira to the aerial walkway that carries pedestrians to and from the Belém River Station ends in this Annex. Its ground elevation, originally constant at 6.60m, coincided with the height of the Museum floor: this was a straight line almost 300m long that connected the monumental area with the riverfront and the projected car park.

This walkway and the intended car park, whose capacity will be 400 cars, form a proposal to minimise the problem of parking in the Bélem monumental area, which is currently full of parked cars on the surface. This component of the project, which would be financed by the operating concessionaire, has been turned down by Lisbon City Council.

From the aerial walkway, which now respects the demands of REFER (particularly a headroom of 7.50m above the railway line – about 8.1m from the ground), was intended to be pragmatic, of simple construction, with a language that was “linked” to the Museum. 3 sections of 3 spans, about 30m each, were defined, the deck comprising 3 parallel HE550A beams. The pillars were slender sheets of reinforced concrete. The guard rails are identical to those in the Museum – solid pre-fabricated panels of white concrete, supported by metal uprights.

It should be noted that the construction of the Museum respected the budget initially set out by the Client and accepted by the Design Team, to the cent. The work has been completed and is ready to be inaugurated. At the time of writing, tenders have yet to be launched for the Exhibition Project itself – essential for the opening of the Museum, and the construction of the aerial pedestrian walkway.



Exhibition hall

The exhibition hall is destined to house the coaches transferred from the present Museum and is located parallel to Avenida da Índia. The building is approximately 16.5m high, and could simplistically be described as a white, opaque parallelepiped, 126m x 48m x 12m, supported by a grid of 14 circular pillars 1.80m diameter. Internally, this high mass is divided into 3 longitudinal naves.

In addition to the raised floor that forms the core of the museum, there are also certain complementary areas on the ground floor and a small underground area.

The exhibition areas are located in the lateral naves of the upper level, and include two large halls for the permanent exhibition, of about 125m x 17.25m of usable area each, with a double ceiling height (8.28m), marked by a continuous pavement in smooth concrete, by pure white walls and by the white metal grid of the suspended ceiling, which encloses all the infrastructure for the building but at the same time allows it to be seen. There is a sequence of openings in the museum's longitudinal walls, whose shape relates to the configuration of the metal truss structure and, in the case of the intermediate walls, windows that result from the subtraction of their volume to the volume of the walls in which they sit.

Between these two halls, in the central nave, there is a group of spaces including a temporary exhibition hall, with about 215 m² of usable area and with direct access to the entrance, some workshops for everyday maintenance, where the coach lift is located, the public toilets, a

public circulation space that links the various spaces and enables access to the emergency stairs, also installed in the central nave.

Level 2's area about 1380 m² is limited by the central nave and comprises, at its two ends, space for the plant rooms where the ventilation and air conditioning equipment for the exhibition halls is found. There is also an education department room and a group of hallways and corridors that provide a route at the upper level giving a more exclusive view of the exhibition halls as well as access to the external veranda anticipated for the south elevation with views to the river.

Access to the upper footpath to the Annex building is also located in these corridors, which gives Museum staff direct access to the administrative areas.

The need for tight control of the lighting in the spaces allocated to the exhibition means that there are practically no openings to the outside. Only horizontal slots are provided at each end of the building, and one or two other apertures carefully arranged along its longitudinal elevations. Skylights, used only for natural fume extraction are provided in the roof of the exhibition halls.

At ground floor level, the areas are divided by two independent modules, one being the entrance and the other for the reserved areas and for the service area. The entrance module, which includes the shop and the storage lockers, is enclosed by completely glazed façades, creating continuity with the exterior square. There are two large elevators here, each with a capacity for 75 people, which provide access to the exhibition halls on the upper floor. The ticket offices and public toilets are in the other module, facing the entrance to the museum. The maintenance and restoration workshops are located in the centre, accessed from the outside through a large gateway leading to an antechamber (reception) and a cleaning room. This then leads to a large open space where the maintenance workshops, vehicle storage areas are to be found, along with the lifting platform on which the coaches and other items are raised to the exhibition hall level.



instalados no local, etc. – o prazo acabou por deixar de ser prioritário, mas mantiveram-se válidos os restantes pressupostos da decisão.

Para a estrutura da caixa, com vãos longitudinais de 46 m e transversais de 18 e 12 m, a opção foi para uma estrutura de treliças hiperestática e redundante, com um comportamento tridimensional, aproveitando os elementos estruturais principais como elementos de travamento das estruturas principais da outra direção e tirando o máximo partido de todas as continuidades e redistribuição de esforços que foi possível materializar, procurando sempre um elevado grau de simplicidade de montagem.

As grandes paredes longitudinais da caixa albergam as treliças principais, que tiram partido de toda a altura do Edifício. É ao longo destas paredes que se localizam os grandes eixos de distribuição dos serviços, interligando as duas zonas técnicas do Museu, localizadas em espaço aberto nos extremos do nível superior.

O Arquiteto pensou o Anexo como um edifício coberto, meio vazio, em que os conceitos de interior e exterior se confundem pela diversidade de vistas e ambientes que gera. Uma estrutura porticada de Betão pré-esforçado apoia duas caixas de aço e vidro onde se instalarão a Diretoria e um Restaurante. O Auditório ocupa uma caixa de betão ao nível térreo.

É neste Anexo que termina a rampa que liga a R. da Junqueira à Passagem Superior que transportará os peões de e até à Gare Marítima de Belém. A sua cota de pavimento – originalmente constante de 6,60 m – coincidia com a cota de pavimento do Museu: era uma linha reta com quase 300 m de comprimento interligando a área monumental com a frente ribeirinha e o estacionamento projetado.

Esta passagem e o estacionamento previsto, com capacidade para 400 carros, constituem uma proposta efetiva para minimizar o problema do estacionamento da área monumental de Belém, atualmente repleta de carros estacionados à superfície. A Câmara de Lisboa “chumbou” esta componente do Projeto, cujo financiamento seria assegurado pela concessão da sua exploração.

Da passagem superior – agora respeitando as exigências da REFER (de que se destaca a altura livre de 7,50 m sobre a linha férrea – cerca de 8,10 m ao pavimento) – pretendia-se uma forma pragmática, de construção simples, com uma linguagem que a “ligasse” ao Museu. Definiram-se 3 tramos de 3 vãos com cerca de 30 m cada, sendo os tabuleiros compostos por 3 vigas HE550A paralelas. Os pilares são lâminas esbeltas de Betão Armado. Os guarda-corpos são idênticos aos do Museu – painéis maciços de Betão Branco pré-fabricados, apoiados em prumos metálicos.

Cabe aqui referir que a construção do Museu respeitou ao centímetro o orçamento definido inicialmente pelo Cliente e aceite pela Equipa de Projeto. A obra está concluída e pronta a inaugurar. Na data em que se escreve este texto, ainda falta lançar os concursos para as empreitadas

relativas ao Projeto Expositivo – essencial para a abertura do Museu – e à construção da Passagem Superior de Peões.

Pavilhão de Exposições

O pavilhão de exposições destina-se a receber os coches que serão transferidos do atual Museu e encontra-se implantado paralelamente à Avenida da Índia. O edifício com aproximadamente 16,5 m de altura, poderá simplificarmente ser descrito como um paralelepípedo branco, opaco, com 126 m x 48 m x 12 m apoiado numa malha de 14 pilares circulares com 1,80 m de diâmetro. Este volume elevado é interiormente seccionado em 3 naves longitudinais.

Para além do piso elevado que constitui o núcleo do museu, realçam-se ainda algumas áreas complementares distribuídas pelo piso térreo e uma área enterrada de pequena dimensão.

As áreas de exposição situam-se nas naves laterais do piso 1 e incluem duas grandes salas destinadas à exposição permanente com cerca de 125 x 17,25 m² de área útil cada, com duplo pé-direito (8,28 m), marcadas pela presença do pavimento contínuo em betão afagado, pelas paredes absolutamente brancas e pelo gradil metálico branco do teto suspenso, que ao mesmo tempo que encerra todas as infraestruturas do edifício, permite que se tenha uma perceção da sua presença. Nas paredes longitudinais do museu realça-se a presença de uma sequência de vãos, cuja forma se relaciona com a configuração das treliças metálicas estruturais e no caso das paredes intermédias, as vitrinas que resultam da subtração do seu volume ao volume das paredes em que se inserem.

Entre estas duas salas, na nave central, encontra-se um conjunto de espaços, cujas valências compreendem uma sala de exposições temporárias, com cerca de 215 m² de área útil e acesso direto desde a entrada, uma área de oficinas para manutenção diária onde se situa o monta-coches, instalações sanitárias públicas e ainda os atravessamentos públicos que ligam os vários espaços e permitem o acesso às escadas de emergência também instaladas na nave central.

O piso 2 com cerca de 1380 m² de área total, está limitado à nave central e compreende, nos seus dois topos, espaços para as áreas técnicas onde serão instalados os equipamentos afetos aos sistemas de ventilação e climatização das áreas de exposição. Para além destas áreas, inclui ainda uma sala de serviço educativo e um conjunto de vestíbulos e passadiços que permitem um percurso a uma cota superior possibilitando uma vista mais exclusiva das áreas de exposição bem como o acesso à varanda exterior prevista no alçado sul com vistas para o rio.

É também nestes passadiços que se localiza o acesso à passagem superior para o edifício anexo por onde se fará o acesso direto do *staff* do Museu às áreas administrativas.

A necessidade de controlo apertado da iluminação nos espaços afetos à exposição, resulta na quase inexistência de aberturas para o exterior. Apenas estão previstos rasgos horizontais em cada um dos topos do edifício e uma ou outra pequena abertura, dispostas criteriosamente ao longo dos alçados longitudinais do edifício. Na cobertura das salas de exposição estão previstas claraboias apenas utilizadas para desenfumagem natural das salas de exposição.

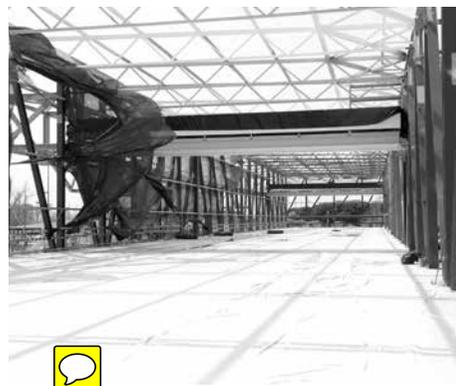
Ao nível do piso térreo, as áreas encontram-se divididas por dois módulos independentes, o módulo da entrada e o módulo das áreas reservadas e de serviço do museu. O módulo da entrada, que inclui a loja e o guarda volumes, é encerrado com fachadas completamente envidraçadas, criando uma continuidade com o exterior da praça. É aqui que se encontram os dois grandes elevadores, com capacidade para 75 pessoas cada, por onde se faz

Certain areas are specifically set aside to store more sensitive items such as saddles and cavalry accessories, textiles, documents, paintings and other objects. These are closed and have no external lighting. Other service areas are to be found adjacent to the workshops, and on the side opposite the ticket offices, including showers and dressing rooms for museum personnel, staff rest areas, curators' rooms, offices and service elevators for access to the basement and upper floors. In the extreme west of this area there is also space for lease, intended for a cafeteria with terrace, and like the entrance module, it also has wholly glazed external façades.

The basement level is intended exclusively for technical and support spaces. Amongst other things, it includes water cisterns for fire-fighting, drinking water and reuse of rainwater, plant rooms for HVAC equipment, a generator and an area for recycling and storage of waste.

In general, the floors are made of concrete slabs finished with surface hardener and mechanical smoothing. The external cladding of the façade of the pavilion is of the "ventilated curtain" type using Knauf "Aquapanel", including in its composition cement boards, waterproof plasterboard, thermal insulation, rockwool and a vapour barrier. The interior finishes of the façades are made in plasterboard panels and thermo-acoustic insulation. The roof is coated with a sandwich system comprising a structural plate at the bottom, a layer of thermal and acoustic insulation and an external profile of the Kalzip type.

Given the widespread use of large spans, that seem to be linked to the concept of a high building, opted for the use of light construction systems, which is evident not only in the main structure of the building, which is metallic, but also in all its envelope. Note, in particular, the composite slabs of reduced thickness of the exhibition floor, the sheet metal roof and also the interior and exterior walls which are predominantly of plasterboard.



Annex building

This is a building alternating between full and empty, which includes the independent module of the auditorium at its base and, above, the volumes suspended in the structural exposed concrete porticos for the administrative areas and the restaurant, with glazed façades adjacent to the triangulated structural beams.

The interior of the building includes an arrangement of vertical and horizontal communications, predominantly public, all in an outdoor environment though sheltered by the central skylight constructed of glass and metal.

On the ground floor is the auditorium, 8.50m high and a capacity for 330 persons, built in exposed structural concrete to be painted on the external side. This is an informal space for visitors to the museum and to support the educational department, with two large side gateways to allow passage of a horse-drawn carriage. Inside, concrete also predominates, the walls being clad with perforated concrete panels, behind which there is insulation that will simultaneously provide acoustic control of the space. There are prefabricated concrete T-section beams in the ceiling, and the floor has granite cubes at the base and precast concrete seats. There is a reflecting pool on the roof. Still on the ground floor, to the north, and part of the auditorium module, there is an area for a leased shop, and to the south, public toilets and a space for the Museum's reception and information desk.

On Level 1, at the rear of the auditorium, is a large veranda overlooking Rua da Junqueira, which also serves as a link between the new access ramps to the pedestrian walkway and Rua do Cais da Alfandega Velha.

Level 2 comprises two "bridges" in metal, with triangulated beams with a 45m span, supported on the exposed concrete structural porticos. The eastern "bridge", with a splendid view to the new Museum square and the reflecting pool on the rooflight, is intended for the Museum administration, with spaces for administrative services, curators and management offices, library, toilets, staff kitchen and rest rooms. The western "bridge" has an open space with a view over the whole monumental area of Belém, which is intended to be leased for a restaurant. This has kitchen, bar and toilet areas, and the remaining space is for the dining area.

The connection between the "bridges" is made by two walkways with a metal structure and concrete decks, which also provide access to the exposed reinforced concrete blocks that house the emergency stairs and the elevator shafts.

There is also a small plant room on the north walkway.

The pavements of these spaces are finished in smooth concrete, the façades are glazed and the ceilings use a suspended metal trellis, thus maintaining the continuity of the solutions adopted for the exhibition hall.

Pedestrian and cycle walkway

The proposed solution for the pedestrian walkway retains the concept of public space that guides the entire project. Starting from the north it is still within the confines of the annex building, attached by a set of 3m wide ramps which lead from the level of the square to the level of the elevated deck, also providing direct access to the north veranda of the auditorium from one of the intermediate landings. After crossing Avenida da Índia, the railway tracks and Avenida Brasília the deck elevations descend until they meet the ramps, again allowing access from the garden.

The height of the elevated part of the walkway is determined by the need to ensure a minimum headroom of 7.5m for the crossing over the railway as well as the need to comply with the maximum inclinations in the regulations.



o acesso às áreas de exposição do piso superior. No outro módulo, virado para a entrada do museu, encontram-se as bilheteiras e instalações sanitárias públicas. Ao centro estão as áreas das oficinas de manutenção e restauro, com entrada através do exterior por intermédio de um grande portão para antecâmara de recepção e câmara de expurgo. Daí passa-se para um espaço amplo, aberto, onde se dispõem as áreas para as oficinas de manutenção, reservas de viaturas e ainda a plataforma elevatória por onde os coches e restantes peças são elevados para o piso das salas de exposição.

Em áreas mais reservadas, com espaços próprios encerrados e sem iluminação exterior, são dispostas as áreas para as reservas das peças mais sensíveis, nomeadamente para os arreios e acessórios de cavalaria, têxteis, documentos, pinturas e outros objetos. Adjacente às oficinas e do lado oposto às bilheteiras encontram-se as áreas de serviço, com balneários e vestiários para os funcionários do museu, áreas de descanso de funcionários, sala de conservadores, gabinetes e elevadores de serviço por onde se acede à cave e aos pisos superiores. Esta área, inclui ainda no seu topo poente um espaço para concessão, destinado a uma cafetaria com esplanada e que à semelhança do módulo da entrada tem as suas fachadas exteriores completamente envidraçadas.

O piso -1, enterrado, destina-se exclusivamente a compartimentos técnicos e de apoio. Inclui, entre outros, as reservas de água para combater a incêndio e abastecimento de água potável e reaproveitamento de água da chuva, áreas técnicas para instalação dos equipamentos de AVAC, gerador, posto de transformação e armazenamento de lixos.

Em geral, os revestimentos dos pavimentos são constituídos por lajes em betão acabadas com endurecedor de superfície e talochagem mecânica. O revestimento exterior da fachada do pavilhão é do tipo “cortina ventilada” do tipo “Aquapanel” da Knauf incluindo na sua composição placas de cimento, placas de gesso cartonado hidrófugo, isolamento térmico, lã de rocha e barreira de vapor. Os revestimentos interiores das fachadas são em painéis de placas de gesso cartonado e isolamento térmico-acústico. A cobertura será revestida com um sistema sanduíche

composto por uma chapa estrutural inferior, uma camada de isolamento térmico e acústico e um perfil exterior do tipo kalzip.

Tendo em conta a presença generalizada de grandes vãos, que aparecem associados ao conceito de edifício elevado, optou-se pela utilização de sistemas construtivos ligeiros, o que é evidente não só ao nível da estrutura principal do edifício, que é metálica, como em toda a sua envolvente, realçando-se aqui as lajes colaborantes de reduzida espessura do piso da exposição, as chapas metálicas da cobertura e ainda as paredes interiores e exteriores onde predomina o gesso cartonado.

Edifício anexo

Trata-se de um volume ora preenchido ora esvaziado, de que se destacam, na base, o módulo independente do auditório e no topo, os volumes suspensos nos pórticos estruturais em betão aparente, para as áreas da administração e restaurante, com fachadas envidraçadas adjacentes às vigas estruturais trianguladas.

O interior do edifício inclui um conjunto de comunicações verticais e horizontais, predominantemente públicas, todas em ambiente exterior, embora abrigadas pela claraboia central construída em vidro e estrutura metálica.

No piso térreo encontra-se o auditório, com 8,50 m de altura e capacidade para 330 pessoas, construído em betão estrutural aparente para pintar do lado exterior. Trata-se de um espaço informal para os visitantes do museu e para apoio ao serviço educativo, com dois grandes portões laterais que permitem a passagem de um coche puxado a cavalo. No interior, predomina também o betão, sendo as paredes revestidas com painéis de betão furados, atrás dos quais será previsto o isolamento térmico que simultaneamente fará o controlo acústico do espaço. Nos tetos temos vigas pré-fabricadas em betão, com secção em T, e no pavimento temos cubo de granito na base e novamente betão pré-fabricado nas bancadas. Sobre a cobertura encontra-se um espelho de água. Ainda no piso térreo e integrados no módulo do auditório, encontra-se, a norte, uma área para uma loja a concessionar, e a sul instalações sanitárias públicas e um espaço para a recepção e balcão informativo do museu.

No piso 1, na parte posterior do auditório encontra-se uma ampla varanda sobre a Rua da Junqueira, que serve ainda de ligação entre as rampas de acesso à nova passagem pedonal e a rua do Cais da Alfandega Velha.

O piso 2 é composto pelas duas “pontes” em estrutura metálica com vigas trianguladas com 45 m de vão, apoiadas nos pórticos estruturais em betão aparente. A “ponte” nascente, com vista privilegiada para a nova praça do museu e para o espelho de água sobre o lanernim, destina-se à administração do museu, com espaços para os serviços administrativos, gabinetes para direção e curadores, biblioteca, instalações sanitárias, copa e áreas de descanso. Na “ponte” poente encontra-se um espaço amplo, com vista para toda a área monumental de Belém que se pretende concessionar para a instalação de um restaurante. Distinguem-se neste espaço as áreas da cozinha, bar e instalações sanitárias constituindo a restante área o espaço de refeições.

Dois passadiços em estrutura metálica e pavimentos em betão fazem a ligação entre as “pontes” e permitem ainda o acesso aos núcleos em betão armado aparente onde se encontram as escadas de emergência e os elevadores de acesso.

No passadiço norte encontra-se ainda um pequeno espaço técnico.

Nos acabamentos destes espaços são utilizados os pavimentos em betão afagado, sendo as fachadas envidraçadas e os tetos em gradil metálico suspenso, mantendo-se assim a continuidade das soluções adotadas no pavilhão de exposições.

In addition to the ramps provided at both ends, interim access by elevators and stairs is also provided that enables the walkway to be accessed from the pavements on Avenida da Índia and Avenida Brasília, as well as access to the railway platforms in both directions.

Square

The square under the buildings is made of a unique surface finished in granite cubes, occasionally interrupted by areas and elements of the building at ground floor level. Its insertion within the envelope involves the resolution of the transitions between the different heights which, in the area of greater slope, to the North, is achieved by a set of ramps and steps and, in other areas where the difference is less marked, by the occasional gradual bending of the pavement levels.

The solution proposed focuses on the complete opening of the square as a public space, taking advantage of the permeability of the buildings at the level of the square and the absence of any other barriers to the movement of pedestrians. Vehicular access, although possible and necessary for maintenance and for loading and unloading, is closed to the general public.

Buses carrying visitors are able to stop and park to the south, on a road adjacent to the museum itself, and this allows visitors to be transported close to the entrance.

Structure

The beginning of the project revealed that the structure would immediately assume a role of particular importance in the design of the building, indeed along the lines of the work of the architect, Paulo Mendes da Rocha.

The development of the project confirmed and extended this idea, and it was observed that the role of the structure was relevant not only in terms of form, but also in its contribution to the definition of finishes and architectural details, with the choice both inside and out of finishes in either exposed reinforced concrete or steel structure. A paradigmatic example of this situation is the case of the annex, where in addition to the structure, the finishes only considered the placement of glazed facades, glazed skylights and the ceilings in suspended metal trellis. In the case of the exhibition halls there was also the cladding of the vertical faces.

This aspect required that initially the Architect's concept for the project was internalised, which eventually happened naturally, because since the beginning of the work we found ourselves in tune on both the ideas and the expectations we had for the project. Then and even before the design work itself, the general criteria for the design of the buildings were easily settled together, and these were eventually strictly implemented during the various phases of the project. It appears now, after overcoming and resolving all the technical issues, that in general there are no deviations when we compare the photomontages prepared in the initial programme with the end result of the buildings as built, which admirably demonstrates the knowledge and experience provided, particularly by the architect, Paulo Mendes da Rocha, from the early sketches and from the first ideas outlined for the project.

Exhibition Halls - Main Structure

The main body of the exhibition pavilion is a parallelepiped, 126m long, 48m wide and 12m high, supported on 14 circular pillars 1.80m in diameter and about 4.5m high.

With these features, the choice of a metal structure was almost man-

datory, since only by taking advantage of structural lightness and lightness of construction as a whole, would it be possible not to penalise too much the 14 supporting pillars.

The structure is composed of four major triangulated main beams, about 12m in height, arranged along the longitudinal walls of the exhibition hall naves, which ensures that all vertical loads applied to the building are transferred to the pillars.

In conjunction with the structural elements that support the elevated first floor and the roof, these beams establish a latticework of resistant perpendicular, interconnected planes, which ensure the lateral stability of the elements of each of these planes and appropriately transfer any horizontal forces due to earthquake or wind to the pillars and the central core.

The main beams in the intermediate alignments are 12m apart from each other and supported on four pillars, forming 3 consecutive spans, each of 42m. In turn, the beams of the alignments of the longitudinal façades are 18m apart from the former, and provide three supports, forming two intermediate spans of 42m each and two cantilevered spans at the ends, of 21m each. At both ends of these beams there are two triangulated transverse beams of the same height, which close the volume of the pavilion off. The upper and lower chords for these triangulated beams are in HEB550 profiles, which in addition to the structural function, also have an architectural role because the top and end trellises mark the bottom and top of each of the façades.

The uprights and diagonals usually composed of H-type plated profiles, laid out with the highest inertia orientated along the plane of the triangulated beams. The uprights located on the pillars are composed of HD400x744 profiles that, unlike all others, are orientated with the largest inertia perpendicular to the plane of the trellis.

The lower chord for the beams is interrupted in these uprights which are extended to the top of the pillars. For construction reasons, it was necessary to limit the width of the chords and diagonals to 310mm, which obliged the uprights to be made considerably slimmer. To minimize this effect advantage was taken of the HEA100 profiles, the purlins supporting the façade claddings, linking them together via metal plates and giving them continuity in the area of the uprights, which enabled a significant reduction in the lengths of buckling, thus taking more effective advantage of the section of the uprights.

The uprights of the main beams also ensure the transmission of loads transmitted by external elements that are connected to them, such as the profiles of the latticework beams of the floor, the metal beams of the intermediate floors, at level 2, the truss beams of the roof and the metal profiles of the structure of the outdoor veranda, which on the south façade is supported from the structural beam of this alignment.

The links between the main nodes of these beams are welded. The components are prepared in the factory and shipped to the site separately, then are welded *in situ* on tables prepared for this purpose, so as to form parts that can be raised with the beams on site. Finally, to complete the structure, these members are placed in their final position and are welded together, obviously without forgetting the transverse elements necessary to ensure stability of the whole during various stages of assembly.

Exhibition Halls - First Floor Slab

The Level 1 slab, situated about 6.50m above the ground, is supported by a system of triangulated cross beams, 5.25m apart, which receive the purlins, generally 2.25m apart. The transversal beams are supported on

Passagem pedonal e ciclável

A solução proposta para a passagem pedonal conserva o conceito de espaço público que norteia todo o projeto. O arranque a norte faz-se ainda dentro dos limites do edifício anexo por um conjunto de rampas com 3 m de largura que se desdobram desde a cota da praça até à cota do tabuleiro ao nível elevado, possibilitando ainda o acesso direto à varanda norte do auditório a partir de um dos patamares intermédios. Após a travessia da Avenida da Índia, da linha férrea e da Avenida Brasília as cotas do tabuleiro vão descendo até encontrarem as rampas, desdobrando-se novamente para permitir o acesso a partir do jardim.

As cotas do tabuleiro ao nível elevado são condicionadas pela necessidade de assegurar um gabarit mínimo de 7,5 m na zona de atravessamento do canal ferroviário e ainda pela necessidade de cumprimento das inclinações máximas regulamentares.

Para além das rampas previstas nas duas extremidades estão ainda previstos acessos intermédios por elevadores e escadas que permitem a utilização a partir dos passeios das avenidas da Índia e Brasil, bem como o acesso às plataformas das vias ascendente e descendente da linha ferroviária.

Praça

A praça que se desenvolve sob os edifícios constitui uma superfície única revestida a cubo de granito, pontualmente interrompida pelas áreas e elementos do edifício implantadas ao nível do piso térreo. A inserção no contexto da envolvente envolve a resolução das transições entre diferentes cotas que na zona de maior desnível, a Norte, se consegue através de um conjunto de rampas e escadas e que nas restantes zonas, com desníveis mais suaves, se conseguem através de empenos pontuais e suaves nas cotas dos pavimentos.

A solução proposta aposta na abertura completa da praça, enquanto espaço público, tirando partido da permeabilidade dos edifícios ao nível da cota da praça e da ausência de qualquer outro tipo de barreiras à movimentação de peões. O acesso automóvel, apesar de possível e necessário para efeitos de manutenção e cargas e descargas é no entanto vedado ao público em geral.

Para paragem e estacionamento dos autocarros de visitantes é construída, a Sul, uma via própria adjacente ao Museu, que permite que os visitantes sejam transportados até junto à entrada.

Estrutura

O início do projeto revelou desde logo que a estrutura assumiria um papel de particular relevo na conceção do edifício, o que vem aliás dar continuidade ao que é a raiz dos trabalhos do arquiteto Paulo Mendes da Rocha.

O desenvolvimento do projeto veio confirmar e alargar esta ideia, verificando-se que o papel da estrutura foi relevante não só ao nível da forma, mas também na sua contribuição para a definição dos acabamentos e pormenores arquitetónicos, verificando-se quer pelo exterior, quer pelo interior, a opção por acabamentos ora em betão armado ora em estrutura metálica à vista. Exemplo paradigmático desta situação é o caso do edifício anexo, em que para além da estrutura, ao nível dos acabamentos, apenas se considera a colocação das fachadas envidraçadas, dos vidros dos lanternins e dos tetos em gradil metálico suspenso. No caso do pavilhão de exposições existe ainda o revestimento dos paramentos verticais.

Este aspeto obrigou a que numa primeira fase se tenha interiorizado o



conceito dos Arquitetos para o projeto, o que acabou por acontecer naturalmente, pois desde o início do trabalho se constatou haver sintonia quer nas ideias quer nas expectativas que ambos tínhamos para o projeto. Em seguida e ainda antes do início do trabalho de projeto propriamente dito, facilmente se estabeleceram, em conjunto, os critérios gerais a seguir na conceção dos edifícios, que acabaram por ser rigorosamente postos em prática durante a execução das várias fases do projeto. Constatou-se agora, depois de ultrapassadas e resolvidas todas as questões técnicas, que em geral, não existem desvios quando fazemos o exercício de comparar as fotomontagens desenvolvidas na fase inicial de programa base, com o resultado final dos edifícios entretanto construídos, o que no fundo vem revelar de forma admirável, o conhecimento e experiência colocados, em particular, pelo arquiteto Paulo Mendes da Rocha, desde os primeiros esboços e desde as primeiras ideias delineadas para o projeto.

Pavilhão de Exposições - Estrutura Principal

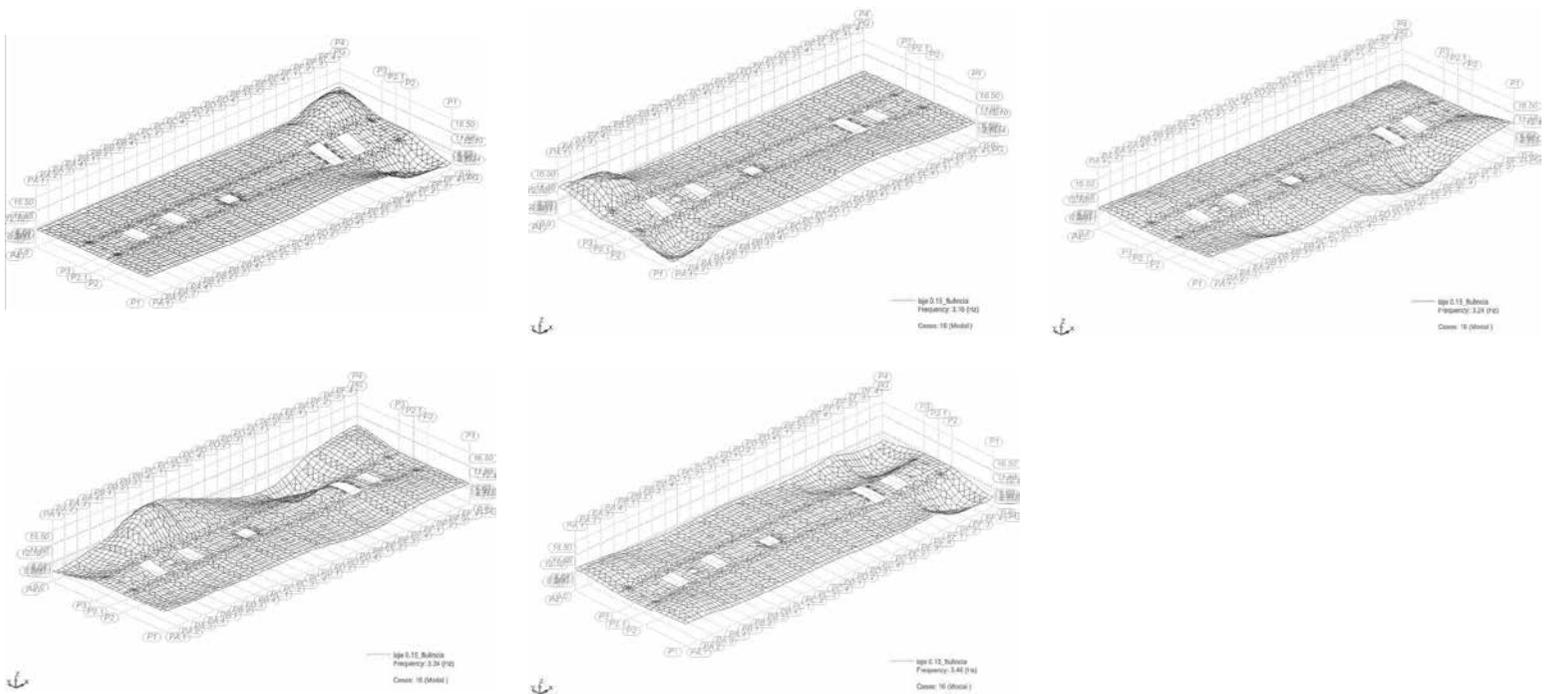
O corpo principal do pavilhão de exposições é um volume paralelepípedo com 126 m de comprimento, 48 m de largura e 12 m de altura, apoiado em 14 pilares circulares com 1,80 m de diâmetro e cerca de 4,5 m de altura.

Com estas características, a opção pela estrutura metálica foi quase obrigatória, pois só tirando partido da leveza estrutural e da leveza de construção no seu conjunto, seria possível não penalizar em demasia os 14 pilares de suporte.

A estrutura é composta por quatro grandes vigas trianguladas principais, com cerca de 12 m de altura, dispostas ao longo das paredes longitudinais das naves do pavilhão e que asseguram a transferência, para os pilares, de todas as cargas verticais aplicadas no edifício.

Estas vigas, em conjunto com os elementos estruturais que suportam o primeiro piso elevado e a cobertura, estabelecem um reticulado de planos resistentes perpendiculares e interligados, que asseguram a estabilidade lateral dos elementos de cada um destes planos e transferem adequadamente para os pilares e núcleo central as forças horizontais, devidas ao sismo ou ao vento.

As vigas principais, nos alinhamentos intermédios, encontram-se afastadas de 12 m entre si e apoiam em 4 pilares, formando 3 vãos consecutivos, com 42 m cada. Por sua vez, as vigas dos alinhamentos das fachadas longitudinais, encontram-se afastadas de 18 m, das anteriores e apresentam três apoios, formando dois vãos intermédios com 42 m cada e dois vãos extremos em consola com 21 m cada. Nos dois topos destas vigas situam-se duas vigas trianguladas transversais, com a mesma altura, que fazem o fecho do volume do pavilhão. A corda superior e inferior destas vigas trianguladas é executada em perfis HEB550, que, para além da função estrutural, apresentam ainda um papel arquitetónico, pois nas treliças de topo e extremidade marcam a base e o topo de cada uma das fachadas.



the 4 large longitudinal beams, thus presenting 3 spans, one intermediate 12m long and two at the ends of 18m each. These beams comprise chords, upper and diagonal IPE and HEB profiles, and are continuous over intermediate supports. The end supports also use an extension of the lower chord of these trusses up to the support, taking advantage of the partial embedding that is created there to reduce the buckling lengths of the upper parts of the main beams.

In turn, for the purlins, it was decided to use IPE140 profiles anchored at two intermediate points by intermediate diagonal struts ending up with 3 spans of 1.45m, 1.45m and 2.35m. At the level of the lower flange of the transverse trusses, the struts are anchored by a set of f27 rods, which in the case of asymmetric loads, ensure the necessary reaction to counteract the horizontal component of the force transmitted by the struts. At the level of the purlin, it is assumed that the upper flange will be anchored by the cooperating plate itself, and that the lower compressed flange, in the zone of the profile on the struts, will be anchored to slackening of the f10 rods to be welded directly onto the upper surface of the flange of the purlin profiles.

The Level 1 slab itself presents a set of particular characteristics that basically arise from the importance attached to it to solve a very diverse set of situations. In fact, in addition to its structural functions, the solution is required to meet the needs of thermal insulation, provide the final finishing for the museum's floors and allow the embedding of the pipes that circulate the radiant liquid for the air conditioning of the spaces.

One of the fundamental premises established from the outset was not to consider expansion or construction joints along the entire area of the exhibition halls.

In terms of determining the finish, various design solutions were tested during the design process, constructing samples of concrete polished with different aggregates and compositions. The option eventually chosen was for a floor with white surface hardener, troweled on to the solid slab in white concrete, which in addition to meeting aesthetic requirements, offers an excellent performance as a flooring material, especially in terms of resistance to impact and wear.

In the construction phase, and for a variety of reasons, it was later decided to make a grey concrete slab with a surface hardener and final finish obtained by applying a lithium based sealant and subsequent polishing. With this solution, a better surface strength and tightness is obtained and, moreover, the final polishing can be done at the end of construction, thus enabling the inevitable marks and damage the floor is subjected to during the construction period to be eliminated or at least minimised.

The constitution of this slab includes a profiled steel sheet, 1.5mm thick, supported on the purlins, receiving the filling of the conduits with lightweight expanded clay concrete, a bond breaking film, an 8cm thick layer of expanded polystyrene thermal insulation and another bond breaking film, over which concrete is poured onto the 15cm thick concrete slab.

The radiant floor tubing is embedded in the slab. For the absorption of horizontal loads in the floor, the proposal is for it to be connected to the central core of stairs as well as to the main metallic structure, in the middle third of the slab, over a length of 42m. The freeing of the slab in the two end thirds results from the need to reduce the stresses due to shrinkage and thermal variations. For seismic action in the transverse direction, the end thirds of the slab work as a cantilever, ensuring through a diaphragm effect, the transmission of horizontal actions to the fixed supports of the intermediate pillars and to the reinforced concrete core of stair E2.

To limit and control cracking, it is expected to apply longitudinal and transversal pre-stressing, sized to ensure a 1MPa minimal residual compression for most situations. The pre-stress is adherent with mono strands of "0.6" arranged in centred metal sheaths, spaced 0.40m between them.

In dynamic terms, the slab for Level 1 of the exhibition hall has its first natural frequencies between 3 and 3.50Hz, therefore within the critical range that would make the slab susceptible to producing uncomfortable levels of vibration.

Taking this into account several studies were carried out according

Figure 02 - 



02

Os montantes e as diagonais são em geral compostos por perfis laminados do tipo H, dispostos com a maior inércia orientada segundo o plano das vigas trianguladas. Os montantes localizados sobre os pilares são compostos por perfis HD400 x 744, que contrariamente a todos os outros, se encontram orientados com a maior inércia perpendicularmente ao plano das treliças.

A corda inferior das vigas é interrompida nestes montantes, sendo estes prolongados até ao topo dos pilares. Por questões construtivas houve a necessidade de limitar a largura dos montantes e diagonais a 310 mm o que obrigou à consideração de montantes consideravelmente esbeltos. Para minimizar este efeito tira-se partido dos perfis HEA100, das madres de suporte dos revestimentos das fachadas, ligando-os entre si através de chapas metálicas e dando-lhes continuidade na zona dos montantes, o que possibilita uma redução significativa dos comprimentos de encurvadura tirando-se desta forma, um partido mais efetivo da secção dos montantes.

Os montantes das vigas principais asseguram ainda a transmissão das cargas transmitidas por elementos exteriores que a eles estão ligados, como é o caso dos perfis das vigas treliça do pavimento, das vigas metálicas dos pavimentos intermédios, ao nível do piso 2, das vigas treliça da cobertura e ainda dos perfis metálicos da estrutura da varanda exterior, que na fachada sul se penduram na viga estrutural desse alinhamento.

As ligações entre os nós principais destas vigas são soldadas. Os elementos são preparados em fábrica e enviados para a obra isoladamente, sendo depois já no local da obra, soldados em mesas preparadas para o efeito, de modo a constituir peças passíveis de serem elevadas com as gruas do estaleiro. Finalmente, para conclusão da estrutura, estas peças são colocadas na sua posição final e são soldadas entre si, obviamente sem entretanto esquecer os elementos transversais necessários para assegurar a estabilidade do conjunto durante as várias fases de montagem.

Pavilhão de Exposições - Laje Do Piso 1

A laje do piso 1, situa-se a cerca de 6,50 m do solo e é apoiada num sistema de vigas transversais trianguladas, afastadas de 5,25 m que recebem as madres, em geral afastadas de 2,25 m.

As vigas transversais apoiam-se nas 4 grandes vigas longitudinais, apresentando desta forma 3 vãos, um intermédio com 12 m e dois extremos com 18 m cada. Estas vigas são compostas por cordas, montantes e diagonais em perfis do tipo HEA e HEB e são contínuas sobre os apoios intermédios. Também nos apoios de extremidade se opta pelo prolongamento da corda inferior destas treliças até ao apoio tirando-se partido do encastramento parcial que aí se cria para redução dos comprimentos de encurvadura dos montantes das vigas principais.

Por sua vez, para as madres opta-se pela utilização de perfis IPE140 escorados em dois pontos intermédios por intermédio de diagonais, materializando assim 3 vãos com 1,45 m, 2,35 m e 1,45 m. Ao nível do banzo inferior das treliças transversais, as escoras são travadas com um conjunto de 27 tirantes, que no caso de cargas assimétricas, asseguram a reação necessária para contrariar a componente horizontal da força transmitida pelas escoras. Ao nível da madre, admite-se que o banzo superior será travado pela própria chapa colaborante e que o banzo inferior comprimido, na zona do perfil sobre as escoras, será travado ao bambeamento por intermédio de 10 tirantes a soldar diretamente sobre a face superior do banzo dos perfis das madres.

A laje do piso 1, propriamente dita, apresenta um conjunto de características peculiares que são no fundo o resultado da importância que lhe foi atribuída para resolver um conjunto muito diversificado de situações. De facto, para além das funções estruturais, exige-se que a solução dê resposta às necessidades de isolamento térmico, estabeleça o acabamento final dos pavimentos do museu e permita o embebimento das tubagens em que circula o líquido radiante que faz a climatização dos espaços.

Uma das premissas fundamentais estabelecida logo desde o início foi a não consideração de juntas de dilatação ou de construção ao longo de toda a área das salas de exposição.

Ao nível da definição do acabamento foram testados durante o desenvolvimento do projeto vários tipos de soluções, recorrendo à execução de amostras de betões polidos com diferentes tipos de inertes e

Figura 02 - Vista do interior da sala de exposição do edifício expositivo **do topo nascente**



to the latest publications on the subject, and it was concluded that, although the natural frequencies lie within the critical range, the **uses** involved have very significant values that therefore **do not undermine** suitable comfort conditions.

Exhibition hall - level 2 and roof

The slabs for Level 2 are only in the central nave, between the two large longitudinal intermediate beams, and are composed of composite slabs that are 12cm thick **in everyday use**, while in plant rooms, on the one hand to cope with the weight of the equipment in them, but also, particularly, to minimise and control the transmission of vibrations emitted by this machinery to the main structure, it was decided to use 20cm thick slabs.

Like in the exhibition halls, here the finish is also applied directly on to the concrete floors, initially through mechanical smoothing and then by polishing after prior application of a lithium-based sealant.

In this zone the supporting metal structure consists of main metal beams spaced at 5.25m, which bridge the 12m between the large longitudinal beams, supplemented by secondary profiles at right angles where they support the floor slabs.

At this level, metal walkways are also provided that traverse the naves of the exhibition halls, making the connection to the annex to the north and to the external veranda to the south. These walkways are composed of pairs of HEB550 beams that take advantage of their mixed behaviour to **bridge** a total span of 18m.

Exhibition hall - foundations

For the main pillars and cores in reinforced concrete, a solution of indirect foundations was adopted, using reinforced concrete piles cast in the ground, inserted into the volcanic complex with a W4-3 weathering degree and a F5-4 fracturing degree and whose length of insertion varies depending on the loads to be transmitted to the foundation.

The actual length of the piles is between 6m and 15m, their diameters varying between 600mm and 1500mm. The design considered a permissible stress at the tip of the piles of 4000kPa, and tangential stress values along the length of the insertion of 75kPa.

Annex

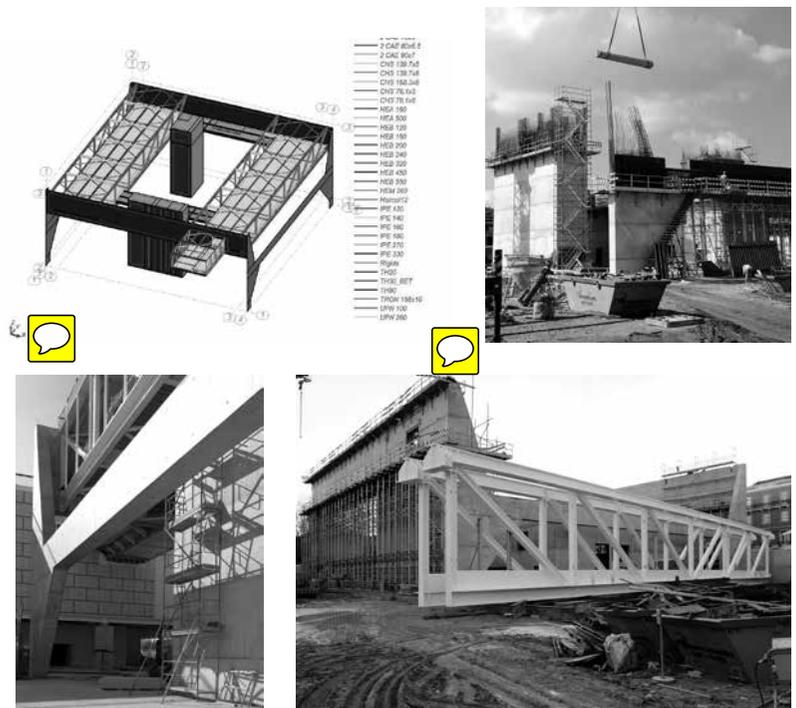
The annex comprises the construction of two structurally independent bodies, the auditorium and the building that houses the administrative services and the restaurant.

Annex - main structure

In this last volume the main structure consists of a grid of four reinforced concrete **porticos** at right angles to each other, and with axes formed according to the sides of a square, 45m by 45m, complemented by two large reinforced concrete shafts housing the vertical accesses by elevators and stairs.

The north and south **porticos** are identical and have two **uprights** each, near their ends, with a thickness equal to the **entire portico**, 0.80m, and variable dimensions in the plane of the **portico** between 2.00m along the foundation, increasing to a **maximum** of 8.00m in the area of the connection to the intermediate **transom**, **reducing** to a minimum of 0.80m at **the top**. The intermediate **transom** is located at about half the height **and a** **triangular** section of 0.80m x 1.80m connects the two pillars of each **portico**.

Perpendicularly to these and supported on the same uprights are the



north and south porticos, consisting of pre-stressed reinforced concrete beams, 0.80m wide and 5.60m high.

It is by these porticos that the main vertical loads are transmitted from the building to the foundations. Furthermore and although the reinforced concrete shafts absorb a large part of the horizontal loads due to earthquake and wind, the peripheral arrangement of these porticos also enables them to play a key role in controlling the rotational movements of the building.

Annex - restaurant and administration building

The areas that house the restaurant and administration services are on only one level and respective roof area and are a suspended paralleliped volume, 45m long, 11m wide and about 5m high. At their ends, these volumes **rest** on the **two** beams that form the east and west **porticos**, thus bridging a total span of approximately 45m. The main structure of **each** of these volumes comprises two large parallel triangulated **metallic** beams, 5.50m high and at intervals of about 11m.

The structure of the floor rests on these beams and is composed of reconstituted welded profiles arranged perpendicularly **to** the main beams and aligned according to the position of the **uprights** of these beams which receive the longitudinal purlins which support the composite floor slab. The roof structure is identical to the floor, while the profiles which constitute it are naturally lighter, because it only has a sheet metal coating. In addition to the structure that **assures** the transmission of gravity loads to the main beams, horizontal **braces** are also provided throughout the floor and roof structure, that ensure the lateral bracing of the main beams.

Each of these two suspended volumes rests on the two large prestressed **beams** at only four points, arranged at the ends of the large triangulated beams. These supports are located at the level of the upper chord and employ rigidly controlled neoprene structural bearings. All the vertical loads are transmitted to these supports. Horizontal actions, due to earthquake activity primarily at ground level, in a longitudinal

composições. A opção acabou por recair num pavimento com endurecedor de superfície branco, talochado sobre laje maciça em betão branco, que para além de responder às exigências estéticas, apresenta um excelente desempenho como material de pavimento, nomeadamente ao nível das resistências ao impacto e ao desgaste.

Na fase de construção e por razões várias foi posteriormente decidida a execução de uma laje em betão cinzento com endurecedor de superfície e um acabamento final obtido através da aplicação de um selante à base de lítio e posterior polimento. Com esta solução consegue-se uma melhor resistência superficial e estanqueidade e para além disso, a execução do polimento final pode ser realizada no final da construção, possibilitando assim a eliminação ou pelo menos a minimização das marcas das inevitáveis agressões a que o pavimento fica sujeito durante o período de construção.

A constituição desta laje inclui uma chapa de aço perfilada com 1,5 mm de espessura, apoiada nas madres, recebendo o preenchimento dos canaletes com betão leve de argila expandida, um filme de dessolidarização, uma camada de isolamento térmico em poliestireno expandido com 8cm de espessura e novo filme de dessolidarização sobre o qual é betonada a laje de betão com 15cm de espessura.

Na laje é embebida a tubagem do pavimento radiante. Para a absorção das cargas horizontais ao nível do pavimento, é proposta a sua ligação ao núcleo central de escadas e ainda a sua ligação à estrutura metálica principal, no terço central da laje, ao longo de uma extensão de 42 m. A libertação da laje nos dois terços extremos resulta da necessidade de reduzir os esforços devidos à retração e às variações térmicas. Para a ação sísmica na direção transversal, os terços extremos da laje funcionam em consola, garantindo por efeito de diafragma, a transmissão das ações horizontais para os apoios fixos dos pilares intermédios e ainda para o núcleo em betão armado da escada E2.

Para limitação e controle da fissuração está prevista a aplicação de um pré-esforço longitudinal e transversal, dimensionado para assegurar uma compressão residual mínima de 1 mPa, para a generalidade das situações. O pré-esforço é aderente com monocordões de "0,6" dispostos em bainhas metálicas centradas e afastadas de 0,40 m, entre si.

Em termos dinâmicos, a laje do piso 1 do pavilhão de exposições caracteriza-se por ter as primeiras frequências próprias compreendidas entre os 3 e os 3,50 Hz, portanto dentro das gamas críticas o que torna a laje suscetível de poder vir a apresentar níveis de vibração desconfortáveis.

Tendo isto em conta foram desenvolvidos vários estudos ao abrigo das mais recentes publicações sobre a matéria, tendo-se concluído que apesar de as frequências próprias se encontrarem dentro da gama crítica, as massas mobilizáveis apresentam valores muito significativos não sendo assim postas em causa as condições de conforto adequadas.

Pavilhão de exposições – piso 2 e cobertura

As lajes do piso 2 desenvolvem-se apenas na nave central, entre as duas grandes vigas longitudinais intermédias e são compostas por lajes mistas colaborantes que nas zonas correntes apresentam uma espessura de 12 cm, enquanto nas zonas técnicas, para fazer face ao peso dos equipamentos aí previstos, por um lado, e sobretudo para minimizar e controlar a transmissão das vibrações emitidas por esses equipamentos à estrutura principal, se opta pela utilização de lajes com 20cm de espessura.

Tal como nas salas de exposição também aqui se considera o acabamento direto dos pavimentos em betão através de talochagem mecânica numa primeira fase e posterior polimento após a aplicação prévia de selante à base de lítio.

Nesta zona a estrutura metálica de suporte é constituída por vigas metálicas principais afastadas de 5,25 m que vencem os 12 m entre as grandes vigas longitudinais, complementadas por perfis secundários dispostos ortogonalmente e onde apoiam as lajes de piso.

A este nível são ainda previstos passadiços metálicos que atravessam as naves das salas de exposição fazendo a ligação, ao edifício anexo a norte e à varanda exterior a sul. Estes passadiços são compostos por pares de vigas HEB550 que tirando partido do seu comportamento misto vencem um vão total de 18 m.

Pavilhão de exposições – fundações

Para os pilares principais e núcleos em betão armado adota-se uma solução de fundações indiretas através de estacas em betão armado moldadas no terreno, com encastramento no complexo vulcânico com grau de alteração W4-3 e fracturação F5-4 e cujo comprimento de encastramento varia em função das cargas a transmitir às fundações.

Os comprimentos efetivos das estacas estão compreendidos entre os 6 e os 15 m, variando os diâmetros das estacas entre os 600 e os 1500 mm. No dimensionamento consideram-se tensões admissíveis ao nível da ponta da estaca de 4000kPa e valores de tensão tangencial, ao longo do comprimento de encastramento de 75kPa.

Edifício Anexo

O edifício anexo engloba a construção de dois corpos estruturalmente independentes, o corpo do auditório e o corpo onde se instalam os serviços da administração e restaurante.

Edifício Anexo – estrutura principal

Neste último corpo a estrutura principal é composta por um reticulado de 4 pórticos em betão armado, ortogonais entre si e com eixos dispostos segundo as arestas de um quadrado com 45 m de lado, complementados por dois grandes núcleos de betão armado onde se instalam os acessos verticais por elevadores e escadas.

Os pórticos norte e sul são iguais entre si e apresentam dois montantes, cada, junto às suas extremidades, com uma espessura igual à de todo o pórtico, 0,80 m, e com dimensões no plano do pórtico variáveis entre os 2,00 m junto à fundação, que aumentam para um máximo de 8 m na zona de ligação à travessa intermédia, voltando a diminuir até um mínimo de 0,80 m junto ao topo. A travessa intermédia localiza-se a cerca de meia altura e com uma secção retangular de 0,80 m x 1,80 m e faz a ligação entre os dois pilares de cada pórtico.

Perpendicularmente a estes e com apoio nos mesmos montantes desenvolvem-se os pórticos norte e sul, constituídos por vigas em betão armado pré-esforçadas com 0,80 m de largura e 5,60 m de altura.

É por estes pórticos que são transmitidas a generalidade das cargas verticais do edifício para as fundações. Para além disso e apesar de os núcleos em betão armado absorverem uma grande parte das cargas horizontais devidas ao sismo e vento, a disposição periférica destes pórticos faz com que desempenhem também um papel fundamental no controle dos movimentos de rotação do edifício.

Edifício Anexo – volumes do restaurante e administração

As áreas que recebem o restaurante e os serviços da administração, abrangem apenas um piso e respetiva cobertura e materializam um volume paralelepípedo suspenso com 45 m de comprimento, 11 m de largura e cerca de 5 m de altura. Nas suas extremidades estes volumes apoiam nas vigas parede que constituem os pórticos nascente e poente vencendo

direction, are considered to be transmitted in part by the structural bearings and in part by a system of buffers provided in the lower chord of the main interior beams.

This buffer system enables, on the one hand, seismic actions to be transmitted by contact to the north portico or to the south portico, depending on the direction of the actions, and on the other, prevents embedding of the large triangulated beams into the reinforced concrete porticos. In the transversal direction, the horizontal loads acting at floor level are transmitted through the same buffer system, as well as through the direct connection planned between the concrete slabs and the reinforced concrete porticos. To avoid undesirable concentration of stresses in the most rigid areas near the uprights, this direct connection of the slab to the porticos is only envisaged for the lower half of the floors.

It should also be noted that the rigidity of the neoprene supports enables them, for quick actions, such as seismic actions, to ensure by distortion the transmission of horizontal loads, and for slow actions, such as temperature variations, that forces are not prevented, which allows the distortion of the structural bearing without the transmission of loads to the supporting element.

Annex - skylight

Between the restaurant and the administration bodies, a metal sheet roof is envisaged, made of a set of parallel V-shaped beams with a maximum width of 1.20m and about 0.80m height, made in 6mm sheet. Near the "V" top end, a 6mm sheet is also envisaged, welded to the "V" wings, positioned so as to provide a 2% rake that ensures rainwater drainage. The axes of these beams are set about 2.25m apart, with further sheets between them, arranged at right angles and replicating the same type of V-shaped beam. This set of right-angled beams enables a number of skylights to be created with a very interesting visual appearance.

Pedestrian Walkway

The pedestrian walkway comprises 3 structurally independent bodies. To the north, still within the confines of the annex, 3 ramp sections provide access to the deck. The first ramp section is in reinforced concrete with deactivated finishing, while the others are a metal structure and bridge a total span of about 37m, their ends resting on cantilevers embedded into the concrete pillars, which are placed in the gap between the parallel ramp sections. In these sections, the deck's transversal section comprises 4 girders in HEA600 profiles, coupled at points by means of crossbars set 1.50m apart. The transversal rigidity of the deck is ensured by a cross triangulation system with L90 x 90 x 9 angles. The cladding is made in extended steel plate.

For the transition to the deck, a support with expansion joint is envisaged, which releases the longitudinal displacements of the deck.

The deck has a cross section of the same type, but with only 3 longitudinal beams in HEB600 profiles and covers 7 consecutive spans with total maximum lengths of about 10m. The support is made in 3.00m x 0.25m reinforced concrete laminae with which it is embedded in the foundation.

Access through ramps is complemented by direct access from the deck, through stairs to the railway platform and the north pavement of Avenida da Índia, and by lift or stairs to the south pavement of Avenida de Brasília.

The deck's longitudinal bracing is essentially ensured by the structure that makes the elevator and stair shaft possible, where the installation of a vertical bracing system is envisaged, made in triangulated bars. The

cross bracing of the deck is ensured by the rigidity that the laminae on which it rests have in that direction.

Like what happens near the north abutment, the walkway ends to the south through the unfolding of the access ramps into parallel sections. Here as well, the starting section is made in deactivated reinforced concrete, the others being in metal structure with the same cross section as the deck.

To the north of Avenida da Índia, the access stairway, to be made in exposed white concrete, displays a spiral shape, the connection to the deck being effected through plates and rock bolts embedded into the concrete. This connection does not allow for relative displacements between the stairs and the deck, so the staircase is designed considering the corresponding differential settlements in the longitudinal and transversal directions.

For aesthetical reasons, the option was for a solution for the deck of a marked slenderness, which obliges buffer devices to correct fundamental vibrations in the structure to be considered. These devices are installed under the deck, between the girders, and will be calibrated on the basis of confirmed dynamic studies to be carried out after the walkway is constructed.

For the rail guards, the choice is the use of pre-fabricated panels of white concrete, 80mm thick and maximum lengths of about 2.70m, fitted into the metal uprights which are previously welded to the deck's girders.

Like in the buildings, an indirect foundation solution is also adopted here, generally through reinforced concrete piles, moulded on site, embedded into the basalt rock mass, with a weathering degree of W4-3 and F5-4. In the area of the railway platform, the restrictions of available space impose the use of an indirect foundation solution, although using micro-piles.

Hydraulic installations

Hydraulic installations and equipment for the building of the new coach museum were designed so as to fulfil functional needs, complying with comfort, reliability and safety requirements, and considering, whenever possible, options that enhance the sustainability of the new construction.

Water

With regard to water management, for a more efficient and judicious use of this resource, the option was for a mixed supply solution, making use of drinking water only for drinking and applying a system of rainwater harnessing to supply all the equipment that could use water from other sources.

Toilets, urinals and irrigation of outdoor spaces will be primarily supplied from the rainwater reserve. This tank was built in the basement in order to protect the water stored there from thermal variations and light. The design includes a first-flush system to detour the first water, because, as is known, the first minutes of rain contain a more significant pollution charge which is not desirable to have in the tank. Upstream of the water distribution to toilets and urinals, in the supply line between the tanks of raw and treated water, the installation of a filtering and purification system is envisaged to avoid the risk of transmission of any contaminants into the water distribution system.

Rainwater used in the harnessing system is collected on the building roofs and channelled to the tank through a siphonic network (*Pluvia*



assim um vão total de aproximadamente 45 m. A estrutura principal de cada um destes volumes é composta por duas grandes vigas metálicas trianguladas paralelas, com 5,50 m de altura e afastadas cerca de 11 m.

A estrutura do pavimento apoia nestas vigas e é constituída por perfis reconstituídos soldados dispostos perpendicularmente às vigas principais e alinhados segundo a posição dos montantes destas vigas, que recebem as madres longitudinais em que apoia a laje mista do pavimento. A estrutura da cobertura é idêntica à do piso, embora os perfis que a constituam sejam naturalmente mais ligeiros, pois apenas recebe uma chapa metálica de revestimento. Para além da estrutura que assegura a transmissão das cargas gravíticas para as vigas principais estão ainda previstos travamentos horizontais ao longo de toda a estrutura de pavimento e cobertura, que asseguram o travamento lateral das vigas principais.

Cada um dos dois volumes suspensos, apoia nas duas grandes vigas pré-esforçadas em apenas 4 apoios, dispostos na extremidade das grandes vigas trianguladas. Estes apoios situam-se ao nível da corda superior e são materializados por aparelhos de apoio de neoprene com rigidez controlada. Por estes apoios é transmitida a totalidade das cargas verticais. As ações horizontais, devidas ao sismo atuam fundamentalmente ao nível do piso, considerando-se que na direção longitudinal são transmitidas em parte pelos aparelhos de apoio e em parte por um sistema de batentes previsto na corda inferior das vigas principais interiores.

Este sistema de batentes permite, por um lado, que por contacto o sismo seja transmitido para o pórtico norte ou para o pórtico sul, consoante a direção de atuação das ações e por outro lado, evita o encastramento das grandes vigas trianguladas nos pórticos de betão armado. Na direção transversal as forças horizontais atuantes ao nível do piso são transmitidas pelo mesmo sistema de batentes, bem como pela ligação direta prevista entre as lajes de betão e os pórticos de betão armado. Para evitar a concentração indesejável de tensões nas zonas mais rígidas junto aos montantes esta ligação direta da laje aos pórticos apenas se considera na metade interior dos pavimentos.

Importa ainda referir que a rigidez dos apoios em neoprene permite que para as ações rápidas, como é o caso da ação sísmica, assegurem por distorção a transmissão das forças horizontais e que para as ações lentas, como é o caso das variações de temperatura os esforços não sejam impedidos permitindo assim a distorção do aparelho de apoio sem transmissão de forças para o elemento de suporte.

Edifício Anexo - claraboia

Entre os volumes do restaurante e administração está prevista a execução de uma cobertura em chapa metálica constituída por um conjunto de vigas paralelas em forma de "V", com 1,20 m de largura máxima e cerca de 0,80 m de altura, executadas com chapa de 6 mm. Perto da extremidade superior do "V" está prevista uma chapa também de 6 mm soldada às abas do "V" colocada de modo a materializar uma pendente de 2% que assegure a escoamento das águas pluviais. Os eixos destas vigas encontram-se afastados de aproximadamente 2,25 m, existindo entre elas outras chapas, dispostas ortogonalmente e que reproduzem o mesmo tipo de viga em forma de "V". Este conjunto de vigas ortogonais permite criar um conjunto de claraboias com um aspeto visual muito interessante.

Passagem Pedonal

A passagem pedonal é constituída por 3 corpos estruturalmente independentes. A norte e ainda dentro dos limites do edifício anexo desenvolvem-se 3 tramos de rampas por onde se faz o acesso ao tabuleiro. O primeiro tramo de rampa é em betão armado com acabamento desativado, enquanto os restantes são em estrutura metálica e vencem um vão total de aproximadamente 37 m, apoiando nas suas extremidades em consolas encastradas nos pilares em betão que se implantam na folga que existe entre os tramos de rampas paralelas. Nestes tramos, a secção transversal do tabuleiro é composta por 4 longarinas em perfis HEA600 unidas pontualmente por travessas afastadas cerca de 1,50 m. A rigidez transversal do tabuleiro é garantida por um sistema de triangulação cruzado com cantoneiras L90 x 90 x 9. O revestimento é feito com chapa de aço distendida.

Na transição para o tabuleiro, está previsto um apoio com junta de dilatação que liberta os deslocamentos longitudinais do tabuleiro.

O tabuleiro apresenta uma secção transversal do mesmo tipo, mas com apenas 3 vigas longitudinais em perfis HEB600 e desenvolve-se ao longo de 7 vãos consecutivos com comprimentos totais máximos da ordem dos 30 m. O apoio é feito em lâminas de betão armado com 3,00 m x 0,25 m que se encontram encastradas na fundação.

Os acessos pelas rampas são complementados por acessos diretos a partir do tabuleiro, por escadas ao cais ferroviário e ao passeio norte da avenida da Índia e por elevador e escadas ao passeio sul da avenida de Brasília.

O travamento longitudinal do tabuleiro é garantido fundamentalmente pela estrutura que materializa o pórtico da caixa de elevadores e escadas e onde se prevê a instalação de um sistema vertical de travamento materializado por intermédio de barras trianguladas. O travamento transversal do tabuleiro é assegurado pela rigidez que as lâminas em que apoia apresentam nessa direção.

À semelhança do que acontece junto ao encontro norte, a sul, a chegada da passagem desenvolve-se através de um desdobramento das rampas de acesso em tramos paralelos. Também aqui o tramo de arranque é executado em betão armado desativado sendo os restantes executados em estrutura metálica de secção transversal igual à do tabuleiro.

A norte da avenida da Índia a escada de acesso, a executar em betão branco aparente, apresenta uma configuração helicoidal, sendo a ligação

ao tabuleiro materializada por intermédio de chapas e chumbadouros embebidos no betão. Esta ligação não permite deslocamentos relativos entre a escada e tabuleiro pelo que se dimensiona a escada considerando os correspondentes assentamentos diferenciais nas direções longitudinal e transversal.

Por questões estéticas opta-se por uma solução de tabuleiro caracterizada por uma elevada esbelteza, o que obriga à consideração de dispositivos de amortecimento para correção das vibrações fundamentais da estrutura. Estes dispositivos são instalados sob o tabuleiro, entre as vigas longarinas e serão calibrados com base na confirmação dos estudos dinâmicos a realizar já após a construção da passagem.

Para as guardas opta-se pela utilização de painéis pré-fabricados em betão branco com 80 mm de espessura e comprimentos máximos da ordem dos 2,70 m encaixados nos prumos metálicos que se soldam previamente às longarinas do tabuleiro.

À semelhança dos edifícios também aqui se adota uma solução de fundações indiretas, em geral por estacas em betão armado moldadas no terreno, encastrando em maciço basáltico com grau de alteração W4-3 e F5-4. Na zona da plataforma ferroviária as limitações em termos de área disponível para a execução dos trabalhos impõe a utilização de uma solução também por fundações indiretas, mas com recurso a microestacas.

Instalações hidráulicas

As instalações e equipamentos hidráulicos do edifício do novo museu dos coches foram projetadas de forma a dar cumprimento às exigências funcionais, atendendo a requisitos de conforto, fiabilidade e segurança, ponderando, sempre que possível, opções que potenciem a sustentabilidade da nova construção.

Água

No capítulo da gestão da água, de modo a permitir o uso deste recurso de forma mais eficiente e criteriosa, optou-se por prever uma solução de abastecimento misto, fazendo uso da água potável apenas para fins potáveis e recorrendo a um sistema de aproveitamento de águas pluviais para abastecimento de todos os dispositivos que possam usar água de outras origens.

Sanitas, urinóis e rega de espaços exteriores serão abastecidos prioritariamente a partir da reserva de água da chuva. Este reservatório foi construído em cave de modo a proteger a água aí armazenada das variações térmicas e da luz. O projeto inclui um sistema de first-flush para desvio das primeiras águas, uma vez que, como se sabe, os primeiros minutos de chuva arrastam uma carga de poluição mais significativa que é indesejável reter no reservatório. A montante da distribuição de água para sanitas e urinóis, na linha de abastecimento entre reservatórios de água bruta e água tratada, prevê-se a instalação de um sistema de filtração e desinfecção prevenindo o risco de transmissão de eventuais contaminantes para a instalação de distribuição de água.

As águas da chuva usadas no sistema de aproveitamento são captadas nas coberturas do edifício e conduzidas ao reservatório por intermédio de uma rede sifónica (*Pluvia da Geberit*), excluindo-se para este fim as águas dos pavimentos exteriores atendendo a que o nível de contaminação as torna pouco interessantes para reutilização. Todo o sistema foi pensado de modo a permitir o escoamento gravítico, direto à rede pública, do reservatório de armazenamento da água da chuva sempre que este se encontre cheio.

Com o sistema de aproveitamento, a necessidade de abastecimento de água da EPAL verifica-se apenas nos meses de julho a setembro,

correspondendo a 18% do consumo total.

Sprinklers e cortinas de água

Na vertente da segurança, nomeadamente na extinção de incêndio por água, o edifício inclui, para além de uma rede de incêndio armada (RIA), um sistema de *sprinklers* e cortinas de

água suportados por uma reserva de água de 260 m³ de água e dois grupos de bombagem autónomos (um para a RIA e outro para *sprinklers* e cortinas de água).

No pavilhão de exposições, ao nível do piso 0, que engloba as oficinas e restantes áreas de apoio, será previsto um sistema de *sprinklers* do tipo húmido. Neste tipo de instalação, o sistema funcionará em carga, pelo que basta que a ampola do *sprinkler* atinja a temperatura pré-determinada para que o sistema seja ativado.

Nas áreas correspondentes ao museu, devido à especificidade e valor das obras em exposição, optou-se pela instalação de um sistema de *sprinklers* de pré-ação por interbloqueio duplo. Desta forma é possível evitar danos acidentais com água quer no sistema de tubagem quer nos *sprinklers*. São necessários dois acontecimentos para que haja descarga de água: que seja dado um alarme através dos detetores de incêndio e que um *sprinkler* se rompa. Assim, se o alarme é ativado mas o *sprinkler* não se rompe, a água não vai para o sistema de tubagem nem chega aos *sprinklers*. Se um *sprinkler* se rompe mas não há alarme a água também não sai para o sistema.

No piso 2 do edifício anexo prevê-se ainda a instalação de um sistema de inundação instantânea do tipo cortina de água, constituído por uma rede de *sprinklers* abertos capazes de provocar o arrefecimento da estrutura da fachada, que por motivos de ordem arquitetónica, não têm outro tipo de proteção contra o fogo.

Este sistema é constituído por um troço de tubagem metálica colocado no topo da estrutura pelo lado interior, onde são colocados os difusores de cone cheio necessários para garantir a formação de uma cortina de água uniforme.

Instalações elétricas, de telecomunicações e segurança ativa

A abordagem ao projeto de instalações e equipamentos elétricos, de telecomunicações e de segurança procurou enquadrar-se no quadro de excelência que se estabelece para o edifício, tendo então, o rigor técnico, a inovação, a otimização dos sistemas e em especial a integração com a arquitetura, sido as suas condicionantes máximas.

Salienta-se o facto de, por opção da arquitetura, se considerarem expostos os diversos elementos das instalações técnicas o que obrigou a um particular cuidado no desenvolvimento dos traçados e na conceção dos sistemas com o objetivo de obter um resultado final agradável e cuidado. Face à quantidade de redes previstas para a generalidade dos espaços, estabelece-se um código de cores que facilita a identificação das várias redes, reportando cada uma à sua especialidade:

- . Cor de Laranja: Instalações e equipamentos elétricos;
- . Branco: Instalações e equipamentos mecânicos;
- . Vermelho: Instalações de extinção/combate de incêndio;
- . Preto: Instalações hidráulicas;

A generalidade dos tetos falsos é encerrada inferiormente gradil metálico, com malha de 10 x 10 cm, pretendendo-se com este gradil sobretudo a delimitação do espaço destinado às infra-estruturas bem como a obtenção de uma leitura de continuidade. Tendo isto em consideração a solução de iluminação geral considera a instalação, sobre o gradil de luminárias do tipo industrial, com caixa em policarbonato que além de

which in addition to giving it a high IP, also reduces the frequency of maintenance, with a high performance reflector, equipped with T5-HO bulbs (High Output) and electronic ballasts.

In the exhibition halls, given that the coaches are highly sensitive to UV radiation, an overall lighting was calculated for the spaces of about 100-150lux, reinforced at points by spotlights equipped with appropriate filters and fitted with the Globe system, with an adjustable focus, which enables forms to be defined with high precision at considerable distances.

To suspend the spotlights, as well as all other equipment which, owing to conceptual requirements, cannot be placed above the grid (such as speakers, video projectors, etc.), a detachable suspension system was created, which allows for its easy relocation to any of the grid "squares".

To reconcile constructive issues and the required widths for installing ventilation ducts and other infrastructure, the option was for the use of very thick false interior walls along which the various technical systems required are distributed. These walls are used to locate larger equipment, such as electrical cabinets and some local supply and control equipment, as well as to install the museum's display cases which are lit internally by fluorescent tubes and directional LEDs.

The design of the elevators, with a special focus on the two main lifts, capable of carrying 65 people at a time, considered that they represent the "21st century coach", the ride offering a first display of the museum, through the openings in the cabin which provide a view to the inside of the "suspended ceiling".

With regard to telecommunications, a category 6 UTP cable and fibre optic structured network was created, covering the whole space, enabling changes to be implemented at any time in a simple way, such as proposed for museum content shown through various multimedia equipment, whose location is easily adaptable since they rely on solutions centralised at the servers.

Regarding security, in view of the valuable collection on display, as well as the experience of the existing museum, a configurable CCTV system was implemented, enabling the functions of control of people and intruders to be combined, as well as the continuous recording of images from the various spaces. In the exhibition halls, the DOME-type CCTV cameras, with HD varifocal lenses, allow for the definition of a perimeter around a certain object (a coach, for instance), which it is proposed to coincide with the lettering elements of the museum project, in which, should a violation of this virtual barrier occur, an automatic alarm signal is triggered at the main security station. This system will reduce the need for local surveillance, in addition to optimising remote surveillance.

Mechanical installations

The current National Coach Museum in Lisbon "preserves today one of the most important and valuable collections of its kind in the world" (quoting Simonetta Luz Afonso).

The purpose of a museum is to preserve for future generations artefacts, materials and historical information, but also to provide access to this heritage for present generations, and making it attractive.

Air conditioning systems take on an important role to achieve these aims, since they can contribute to minimising the deterioration of the collections, although at the other end of the spectrum, if incorrectly configured with regard to temperature and air humidity, they can actually accelerate this deterioration.

Different types of materials require different optimum levels of humidity for their preservation. Collections including different types of

artefacts or materials require, therefore, a compromise as to the value of air humidity to be provided. On the other hand, in the case of collections that have never been in a very controlled environment, a very tight control of these parameters may actually be counterproductive.

The project for the Mechanical Installations and Equipment (HVAC) is intended to propose solutions which provide the museum with comfortable conditions for the various usage situations but also the thermal and hygrometric conditions required for the preservation of the collection, in the light of a compromise between preservation and human comfort for the exhibition, storage and restoration spaces, and thermal comfort in the auditorium, the access areas to the museum, as well as ensuring normal and emergency ventilation for those spaces that so require, and the production of hot sanitary water, according to the needs defined. All this always from the point of view of energy optimisation and associated operational costs.

HVAC systems

The design of the environmental treatment systems seeks to meet the diversity of thermal demands, brought about by the functions of the different areas that make up the building, notably exhibition and storage spaces, restoration rooms/workshops, auditorium, administrative offices and restaurant spaces.

Humidity control is paramount in museums and aims especially at ensuring that materials:

- . do not absorb or promote water condensation which might accelerate adverse chemical reactions or microbiological attacks;
- . do not become dehydrated, losing their mechanical resistance and/or flexibility.

The degree of deterioration of the materials is not only a result of the level of humidity, but also the frequency and the cycle of its variation.

Since the ideal values for the temperature and humidity parameters are different according to the materials to preserve and not always consensual, it is fundamental that the client and/or the collection curator have their say on the values of the temperature/humidity interaction which are acceptable for the exhibition, restoration and storage areas of the Coach Museum and on the different solutions proposed and compromises adopted, since this is essential to validate the costs of air conditioning systems, as well as the costs associated with architecture and the other trades, owing to the impact that certain changes to these assumptions may entail.

Most artefacts are preserved under good conditions for relative humidity values between 30% and 60%, provided that the variation between these two extremes is gradual, i.e. greater than a few weeks. It should be noted that these values are perfectly consistent with human thermal comfort.

On the other hand, a very strict control of ambient conditions, particularly relative humidity, entails very high costs, both in terms of the initial investment, and especially future operational costs.

Therefore, we propose some compromise solutions in order to optimise the initial investment/future operational cost ratio, without neglecting the aims defined for the HVAC design: to preserve the collection, thermal comfort and indoor air quality.

The systems are not over-sized and give priority to their centralisation, with an appropriate scaling of the thermal power ratings required, either for cold or heat, and a careful selection that favours energy efficiency and safety in the environment.

The functional organisation of the buildings is taken into due consideration, allowing for an appropriate hierarchy of ambient treatment

lhe conferir um IP elevado também reduz a periodicidade de necessidade de manutenção, com refletor de alto rendimento, equipadas com lâmpadas T5-HO (*High Output*) e com balastros eletrónicos.

Nos salões de exposição, e uma vez que os coches são altamente sensíveis às radiações UV, foi calculada uma iluminação geral dos espaços na ordem dos 100-150 lux sendo esta iluminação reforçada muito pontualmente com recurso a projetores equipados com filtros adequados e dotados de sistema *Globe*, com *focus* regulável o que permite definir formas com elevada precisão a distâncias consideráveis.

Para suspender os projetores de luz, bem como todos os restantes equipamentos que por necessidades conceptuais não se podem localizar acima do gradil (tais como colunas de som, projetores de vídeo, etc, foi criado um sistema de pendurais desmontáveis, o que permite a sua fácil realocação em qualquer um dos “quadrados” do gradil.

Conciliando questões construtivas com as larguras necessárias para a instalação de condutas de ventilação e outras infraestruturas optou-se pela utilização de paredes interiores falsas de grande espessura por onde se distribuem as várias instalações técnicas necessárias. Estas paredes são utilizadas para localizar equipamentos de maiores dimensões como quadros elétricos e alguns equipamentos locais de alimentação e comando, bem como para a instalação das vitrines do museu que se iluminam internamente com recurso a lâmpadas fluorescentes e *LEDs* orientáveis.

A conceção dos elevadores, com especial enfoque nos dois elevadores principais, capazes de transportar 65 pessoas em cada viagem, foi feita considerando que estes representam o “coche do século XXI”, transformando a viagem num primeira exposição das instalações do museu, pela abertura de vão nas cabines, que permitem ver para o interior do “teto falso”.

No capítulo das telecomunicações foi criada uma rede estruturada em fibra ótica e cabo UTP/de categoria 6/, que cobre a totalidade dos espaços, permitindo assim que em qualquer altura possa ser implementadas alterações de forma simples, tal como se propõe para os conteúdos da museologia, apresentados através de diversos equipamentos multimédia, sendo a localização destes facilmente adaptável, uma vez que recorrem a soluções centralizadas nos servidores.

No capítulo da segurança, e dado o valor da coleção a expor, bem como a experiência do museu existente, foi implementado um sistema de CCTV parametrizável, o que permite aliar funções de controlo de pessoas e controlo de intrusão, bem como o registo contínuo das imagens dos diversos espaços. Nas salas de exposição as câmaras de CCTV, do tipo DOME, com lentes HD varifocais, permitem a definição de um perímetro em torno de um determinado objeto (por exemplo de um coche!), que se propõe seja coincidente com os elementos do *lettering* do projeto de museologia, em que caso haja uma violação dessa barreira virtual, dá um alarme automático na central de segurança. A implementação deste sistema reduzirá a necessidade de vigilância local, bem como otimizar a vigilância remota.

Instalações mecânicas

O atual Museu Nacional dos Coches em Lisboa “conserva hoje uma das mais importantes e valiosas coleções do género do mundo” (citando Simonetta Luz Afonso).

O propósito de um museu é o da preservação para as gerações futuras de artefactos, materiais e informação históricas mas, também, o de proporcionar e tornar apelativo o acesso àquele património às gerações presentes.

Os sistemas de climatização assumem um papel importante no alcance dos objetivos acima identificados, já que, podem contribuir para minimizar a degradação do espólio mas, em oposição, se incorretamente

parametrizados no que respeita à temperatura e humidade do ar, podem até contribuir para a aceleração da sua degradação.

Diferentes tipos de materiais requerem diferentes níveis ótimos de humidade para a sua conservação. Coleções com diferentes tipos de objetos ou materiais requerem, por isso, uma situação de compromisso quanto ao valor de humidade do ar a garantir. Por outro lado, no caso de coleções que nunca tenham estado sobre um ambiente muito controlado, o controlo muito apertado daqueles parâmetros poderá, até, ser contraproducente.

O projeto Instalações e Equipamentos Mecânicos – AVAC – tem como intuito propor soluções que permitam dotar o novo Museu de sistemas de tratamento ambiente que promovam as condições de conforto nas diversas situações de utilização mas, também, as condições termo higrométricas específicas à conservação do espólio, numa base de compromisso conservação de espólio/conforto humano para os espaços de exposição e armazenamento e restauro, e de conforto térmico do auditório, das áreas de acesso ao museu, das áreas administrativas, dos espaços comerciais e de restauração, assim como, garantir a ventilação normal e de emergência dos espaços que assim o exijam e ainda a produção de água quente sanitária de acordo com as necessidades perspectivadas. Sempre numa perspetiva da otimização energética e dos custos de exploração associados.

Os sistemas AVAC

A conceção dos sistemas de tratamento ambiente visa, então, responder à diversidade de solicitações térmicas originadas pela funcionalidade das diferentes áreas que compõem o edifício, tão diversas como: espaços de exposição, armazenamento, salas de restauro/oficinas, auditório, espaços administrativos e espaços de restauração.

Nos museus, o controlo de humidade é importante e tem como objetivos principais assegurar que os materiais:

- não absorvem ou não promovem a condensação de água que acelerem reações químicas adversas ou ataque microbiológico;
- não desidratem perdendo a sua resistência mecânica e/ou flexibilidade.

O grau de deterioração dos materiais é, não só, função do nível de humidade mas, também, da frequência e do ciclo da sua variação.

Como os valores ideais dos parâmetros, temperatura e humidade, são diferenciados em função dos materiais a conservar e, por outro lado, nem sempre são consensuais, é fundamental que o dono de obra e/ou o conservador da coleção se pronunciem sobre os valores do binómio temperatura/humidade aceitáveis para as áreas de exposição, restauro e armazenamento do Museu dos Coches e sobre as diferentes soluções propostas e dos compromissos assumidos, uma vez que, tal é essencial à validação dos custos associados aos sistemas de climatização mas, também, dos custos associados à arquitetura e restantes especialidades, pelo impacto que algumas alterações naquelas assunções podem representar.

A maioria dos artefactos conserva-se em boas condições para valores de humidade relativa entre 30 e 60 %, desde que a variação entre aqueles extremos seja gradual, isto é, superior a algumas semanas. Refira-se que aqueles valores são perfeitamente compatíveis com o conforto térmico humano.

Por outro lado, um controlo muito rigoroso das condições ambiente, em particular da humidade relativa, tem custos associados muito elevados, quer ao nível do investimento inicial, quer em especial ao nível dos custos de exploração futuros.

Pelo que, propomos algumas concessões de compromisso no sentido de otimizar a relação investimento inicial/custos de exploração futuros sem, no entanto, descorar os objetivos a que o projeto de AVAC se propõe: conservação de espólio, conforto térmico e qualidade do ar interior.



levels, also from a perspective of ease of operation and maintenance.

Energy Systems

The energy systems were envisaged according to temperature and humidity requirements, the balance shown as regards thermal heating and cooling loads, but also the specific use of the spaces.

As a basic solution, we propose the use of refrigerated and heated water production groups, commercially called heat pumps by air condensation of the air/water type.

In view of the different usages, both in terms of time and function, and also the possibility of operation by third parties, eight heat pumps are envisaged, albeit with totally different power ratings and independent operation. The most powerful ones are linked to the ambient treatment of the Exhibition Hall, with the exception of the cafeteria and the storage area, which have a different dedicated small-scale heat pump. The other four heat pumps are also small-scale and are associated with the auditorium, the administrative offices, the restaurant and the store in the Annex, respectively.

In the case of the two heat pumps for the Exhibition Hall, bearing in mind that this is a building with large spaces and rather demanding humidity control requirements, there are heating needs throughout the year, albeit residual in the colder season, so we considered it appropriate to use energy recovery by thermal heat rejection from the cooling of the heat pump condenser in the chiller version.

Conversely, due to the same need for humidity control and any cooling requirements, even in winter, when the heat pump is working in heating mode, the cold thermal rejection energy from the heating of the evaporator is also recovered, thus increasing the global efficiency of the energy system.

The heat pumps, interconnected to the various items of equipment, promote environmental cooling and heating and air de-humidification, as well as air re-heating in the cooling period.

Solar energy is the basis for the preparation of sanitary hot water for consumption through the use of thermal solar panels, in compliance with national legislation, RSECE, but also the latest European Directive on targets to be attained for renewable energies.

Environmental Treatment Systems

The environmental treatment systems are designed in an integrated manner, seeking energy efficiency and sustainability and minimising their impact on the environment, in order to promote:

- the temperature and humidity conditions and the level of filtering defined, both for thermal human comfort, and for the preservation of

the collection.

- the indoor ambient air quality, i.e. by ensuring efficient ventilation.

The main thing is to simplify solutions and to optimise the technical and economic relationship which will impact both on the reduction of the initial investment and especially on the decrease of energy consumption and future operational costs.

Without elaborating too much on the systems envisaged, we summarise below the solutions proposed for the most relevant spaces with regard to the functions of the building:

- Exhibition spaces - In view of the geometry of the spaces and, particularly the considerable ceiling height, the environmental treatment is jointly ensured by radiant floors and specific air treatment units, both with operation and temperatures very close to set-point temperatures, decreasing the thermal stress on the exhibits. This combination, associated with air blowing at a relatively low level, enables a volume control to be created which guarantees comfort conditions for all the spaces.
- Auditorium - Environmental treatment is ensured by a displacement-type solution, taking advantage of load transfer by natural convection to unoccupied higher levels. Thermally treated air blowing is done under the boilers at a very low speed and with a low temperature gradient, ensuring indoor air quality and thermal load removal, and extraction is carried out at a high level.
- Administrative area and shop - Thermally treated new air blowing, ensuring indoor air quality and local terminal units for removal of the thermal load.
- Restaurant and cafeteria areas - Heat pumps associated with new air treatment units, ensuring the required new air flow for each space for hygiene reasons and the removal of thermal loads. Specific ventilation systems are also envisaged, thus ensuring indoor air quality, notably through extraction localised in areas of high pollutant generation, such as the kitchen and the cafeteria.
- Installation Control - For the control of the Installations in the New Coach Museum, a centralised technical management system (CTM) is envisaged. The adoption of a CTM system enables systems to be adjusted over time to the actual needs of the building. This will mean a more efficient use of energy and less wasted resources.

Figure 04 - ??

Os sistemas são concebidos sem sobredimensionamentos e privilegiando a sua centralização, procedendo-se ao adequado escalonamento das potências térmicas requeridas, quer de frio, quer de calor, e a uma cuidada seleção que privilegie a eficiência energética e a inocuidade para com o ambiente.

É tomada em devida consideração a organização funcional dos edifícios, permitindo uma hierarquização adequada dos níveis de tratamento ambiente, também, numa perspetiva de simplicidade da condução e manutenção.

Sistemas Energéticos

Os sistemas energéticos previstos são em função dos requisitos de controlo de temperatura e humidade, do equilíbrio demonstrado no que se refere às cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento mas, também, à especificidade de exploração dos espaços.

Propomos, como solução base, o recurso a grupos produtores de água refrigerada e aquecida, comercialmente designados por bomba de calor, por condensação a ar, do tipo ar/água.

Face à utilização diferenciada, quer temporal, quer funcional, quer, ainda, à possibilidade de exploração por entidades terceiras, estão previstas oito bombas de calor, ainda que, com potências totalmente distintas e funcionamento autónomo. As de maior potência estão associadas ao tratamento ambiente do Pavilhão de Exposições, exceto a cafetaria e reservas que tem dedicado uma outra bomba de calor de pequenas dimensões. As outras quatro bombas de calor são, igualmente, de pequena dimensão e são associadas, respetivamente, ao auditório, à área administrativa, restaurante e à loja do Edifício Anexo.

No caso das duas bombas de calor afetas ao Pavilhão de Exposições, tomando em consideração que estamos perante um edifício com grandes espaços com necessidades de controlo de humidade bastante exigentes, existem, ao longo de todo o ano, necessidades em aquecimento, ainda que residuais na época de arrefecimento, considerámos oportuno o recurso à recuperação da energia de rejeição térmica quente proveniente do arrefecimento do condensador da bomba de calor em versão *chiller*.

Em situação inversa, devida à mesma necessidade de controlo de humidade e a eventuais necessidades em arrefecimento mesmo em período de inverno, quando a bomba de calor está funcionar em modo de aquecimento, a energia de rejeição térmica fria proveniente do aquecimento do evaporador é, também, objeto de recuperação, aumentando, assim, a eficiência global do sistema energético.

As bombas de calor, em interligação com os diferentes equipamentos, promovem o arrefecimento e aquecimento ambiente e a desumidificação do ar e, ainda, o reaquecimento do ar em período de arrefecimento.

A energia solar é a base da preparação da água quente sanitária de consumo mediante a utilização de painéis solares térmicos, indo ao encontro da legislação nacional, o RSECE, mas também da mais recente Diretiva Europeia no que se refere às metas que se propõe atingir quanto à energia de origem renovável.

Sistemas de Tratamento Ambiente

Os sistemas de tratamento ambiente são concebidos de uma forma integrada visando a eficiência energética e a sustentabilidade, minimizando o seu impacto negativo no ambiente, no sentido de promover:

- as condições de temperatura, humidade e grau de filtração estabelecidos quer para o conforto térmico humano, quer para conservação de espólio.
- a qualidade do ar ambiente interior, isto é, garantindo uma eficiente ventilação.

Importa, acima de tudo, simplificar as soluções e otimizar a relação

técnico/económica que se refletirá, quer ao nível da redução do investimento inicial, quer, em especial, ao nível da redução dos consumos energéticos e dos custos de exploração futuros.

Sem pretender uma descrição exaustiva dos sistemas previstos, apresenta-se de uma forma sumária as soluções previstas para os espaços mais relevantes no conteúdo do funcional do edifício. Assim, resumidamente:

- Espaços de exposição – Face à geometria dos espaços e em particular ao elevado pé direito, o tratamento ambiente é garantido conjuntamente por pavimentos radiantes e por unidades de tratamento de ar específicas, ambos com funcionamento a temperaturas muito próximas das temperaturas de set-point, diminuindo o *stress* térmico dos materiais expositivos. Aquela conjugação à qual se associa a insuflação de ar a um nível relativamente baixo, permite criar um *volume control* onde são garantidas as condições de conforto e não à totalidade do volume dos espaços.
- Auditório – O tratamento ambiente é garantido por uma solução do tipo *displacement* tirando partido da transferência das cargas por convecção natural para níveis superiores não ocupados. A insuflação de ar termicamente tratado é realizado por sob as cadeiras, a uma velocidade muito reduzida, e com um gradiente de temperatura baixo, garantindo a qualidade do ar interior e a remoção da carga térmica, e a extração é realizada a nível alto.
- Área administrativa e loja – Insuflação de ar novo termicamente tratado, garantindo a qualidade do ar interior e unidades terminais locais para remoção da carga térmica.
- Áreas de restauração e cafetaria – Bombas de calor em associação a unidades de tratamento de ar novo, garantindo o caudal de ar novo requerido para cada espaço por questões higiénicas e a remoção das cargas térmicas. São, ainda, previstos sistemas de ventilação específicos garantindo-se, assim, a qualidade do ar interior, nomeadamente, mediante a exaustão localizada nas zonas de forte geração de poluentes, tais como, cozinha e cafetaria.
- Controlo das Instalações – Para o controlo das Instalações do Novo Museu dos Coches está previsto um sistema de gestão técnica centralizada (GTC). A adoção de um sistema de GTC permite uma adequação dos sistemas no tempo às reais necessidades do edifício. Tal traduzir-se-á por uma mais eficiente utilização de energia e a um reduzido desperdício de recursos.

.....
Figura 04 – Vista do Interior do Auditório