

CÂMARAS MÓVEIS *ITeCons* PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS ACÚSTICOS: PARTE I – DESCRIÇÃO E PROJECTO DAS CÂMARAS

António Tadeu¹, Luís Godinho¹, Filipe Bandeira², Julieta António¹, Paulo Amado Mendes¹, Igor Castro¹

¹ CICC, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra
{tadeu,julieta,pamendes,lgodinho}@dec.uc.pt; igorasc@itecons.uc.pt

²*ITeCons* – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção
bandeira@itecons.uc.pt

Resumo

O presente artigo descreve o modo como foram projectadas e construídas as câmaras acústicas móveis existentes no Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção – *ITeCons*, para a realização de ensaios de isolamento a sons aéreos, isolamento a sons de percussão e absorção sonora de elementos construtivos. Fundamenta as opções assumidas em fase de projecto, de modo a cumprir as características e exigências normativas exigidas para este tipo de equipamentos. Pormenoriza os processos construtivos adoptados e indica as características do equipamento incorporado durante a fase construtiva para movimentar as câmaras e provetes de ensaio. Descreve, de uma forma sucinta, o equipamento de aquisição de sinal seleccionado e projectado para estas câmaras acústicas.

Este artigo é complementado por outros dois (parte II e parte III), onde se descrevem os trabalhos de preparação e caracterização destas câmaras acústicas, realizados após a sua construção, de modo a cumprir os requisitos preconizados na normalização em vigor.

Palavras-chave: câmaras acústicas *ITeCons*, ensaios acústicos laboratoriais, isolamento a sons aéreos e de percussão, absorção sonora.

Abstract

The present paper describes the project and the construction processes used to build the movable acoustic chambers of the “Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção – *ITeCons*”, which allow testing construction elements for sound insulation (both aerial and impact) and sound absorption. In this description, the different options taken at the design stage are justified and related to the technical specifications defined in international normalization. The building processes are described in detail and the technical characteristics of the equipment used to move both the acoustic chambers and the test specimens are given. The measurement chain defined and designed to be used within these chambers is also described.

This paper is complemented by two companion papers (parts II and III), where the authors give a detailed description of the acoustic conditioning of the chambers, undertaken to account for the specifications of international normalization for testing laboratories.

Keywords: *ITeCons* acoustic chambers, acoustic tests in laboratory, impact and aerial sound insulations, sound absorption.

1 Introdução

Tem-se verificado recentemente uma preocupação crescente por parte da legislação em vigor, no sentido de definir exigências de desempenho acústico, tanto dos elementos de construção, como dos próprios espaços a construir. Estas novas exigências, aliadas aos elevados padrões de qualidade requeridos pelos utilizadores dos edifícios, têm vindo a induzir uma crescente procura de soluções técnicas inovadoras por parte do sector da Construção. Observa-se, presentemente, por parte deste sector, um aumento da procura de apoio de instituições com valia técnica e científica, no sentido de encontrar novas soluções construtivas que permitam ultrapassar os problemas e limitações dos sistemas actualmente em uso. O estudo, desenvolvimento e caracterização destas soluções exigem, no entanto, a realização de numerosos ensaios, em instalações laboratoriais apropriadas.

No sentido de dar resposta a um crescente número de solicitações de apoio, para o desenvolvimento e caracterização de novas tecnologias e processos construtivos e para a caracterização de produtos e sistemas de construção, foram projectadas, no contexto de actividades do Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção – ITeCons, instalações laboratoriais que constituem um equipamento inovador e se pretende que venham a ser referência a nível nacional. Adicionalmente, prevê-se a utilização destas instalações no apoio a actividades de investigação teórica e aplicada, desenvolvidas em colaboração com o Centro de Investigação em Ciências da Construção – CICC da FCTUC.

O leque de produtos e sistemas de construção submetidos a ensaio nestas instalações é bastante abrangente, compreendendo, nomeadamente, elementos de construção para edifícios, onde se incluem paredes, pavimentos, envidraçados, janelas ou revestimentos de piso; materiais para tratamento de paredes e tectos ou outros objectos adoptados no condicionamento acústico de espaços; ou ainda dispositivos de redução do ruído de tráfego rodoviário, como barreiras acústicas com diferentes tipologias.

A sua caracterização será efectuada, essencialmente, com base num conjunto de quatro ensaios laboratoriais, no que respeita ao isolamento acústico a sons aéreos e a sons de percussão, e à análise de novos materiais e sistemas, no que concerne à absorção sonora. Estes ensaios (cujo processo de acreditação segundo a norma NP EN ISO/IEC 17025 [1] se encontra em curso) obedecem a regras estabelecidas num conjunto de normas, nacionais e internacionais, actualmente em vigor, mais especificamente, a norma NP EN 20140-3 [2], para a medição do isolamento sonoro a sons aéreos; a norma NP EN ISO 140-6 [3], para a medição do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão; a norma NP EN ISO 140-8 [4], para a medição da redução de transmissão sonora de revestimentos de piso em pavimento normalizado; e a norma NP EN ISO 354 [5], para a medição da absorção sonora em câmara reverberante.

Para fazer face a tal conjunto de ensaios acústicos, a opção pendeu sobre dois conjuntos de câmaras acústicas: um primeiro, com duas câmaras horizontais, para os ensaios de medição do isolamento a sons aéreos, em elementos de separação verticais, e para os ensaios de avaliação da absorção sonora; e um segundo conjunto, com duas câmaras acústicas verticais justapostas, para os ensaios em elementos de separação/compartimentação horizontais, como pavimentos ou revestimentos de piso, tanto para ensaios de isolamento a sons aéreos, bem como para ensaios de isolamento a sons de percussão.

Ao contrário das restantes câmaras existentes no país, estes dispositivos são móveis, permitindo a construção de provetes de ensaio num espaço exterior, sendo, posteriormente, transportados e instalados no interior das câmaras, na sua posição final de ensaio. Desta forma, criam-se condições para ensaiar provetes, cujos componentes apresentam grandes dimensões. Assim, estes provetes permanecem no interior das câmaras unicamente o tempo necessário para a realização dos ensaios relevantes, podendo ser, de imediato, removidos com recurso a equipamentos mecânicos de elevação e transporte, e libertando, deste modo, as câmaras acústicas para a realização de novos ensaios. Saliente-se que a possibilidade de efectuar a preparação e desmontagem dos provetes no exterior das câmaras de ensaio permite minimizar a possibilidade de ocorrência de alguns danos nas instalações, bem como

evitar o impedimento na utilização das câmaras durante os períodos (por vezes longos) de estabilização/cura dos provetes de ensaio. Consegue-se, desta forma, reduzir muito significativamente o tempo total de ocupação das câmaras acústicas para ensaiar cada provete, quando comparado com as instalações laboratoriais fixas tradicionais, possibilitando assim uma maior rentabilização na sua ocupação. O recurso a este tipo de instalações de ensaio móveis tornou a concepção dos sistemas mais complexa e a sua execução bastante mais dispendiosa, requerendo, ainda, uma operação cautelosa por técnicos com formação adequada.

Por outro lado, atendendo às dimensões e ao peso destas câmaras, estas foram construídas em simultâneo com o edifício das instalações laboratoriais do ITeCons, tendo havido igualmente necessidade de prever a sua movimentação e a dos provetes de ensaio, através de equipamentos adequados (pontes rolantes e mecanismo accionado por grupos hidráulicos).

Tendo em conta os ensaios acústicos acima enunciados, as características e exigências normativas que deverão ser respeitadas pelas instalações laboratoriais são descritas de forma detalhada na norma NP EN ISO 140-1 [6], complementadas com alguns requisitos vertidos nas normas de ensaio NP EN 20140-3 [2], NP EN ISO 140-6 [3] e NP EN ISO 140-8 [4], no que respeita a ensaios de medição do isolamento sonoro. No que concerne às especificações dos dispositivos, para o caso dos ensaios de medição da absorção sonora, estes encontram-se descritos na norma NP EN ISO 354 [5]. No projecto e concepção dos dois conjuntos de câmaras acústicas atendeu-se às especificações estabelecidas naquelas normas. Particular atenção foi dada às condicionantes de uma das câmaras horizontais, uma vez que esta será utilizada enquanto câmara receptora, em ensaios de isolamento sonoro de elementos de separação verticais, e como câmara reverberante, em ensaios para medição da absorção sonora.

A norma NP EN ISO 140-1 [6] estabelece um conjunto de especificações relacionadas com: as dimensões das câmaras acústicas; o tempo de reverberação que estas devem apresentar; o nível do ruído de fundo admissível nas câmaras receptoras; a importância dos encaminhamentos indirectos de propagação da energia sonora; o factor de perdas internas da estrutura envolvente do provete; e a abertura de ensaio. No que se refere às dimensões das câmaras de ensaio, recomenda-se que o volume das câmaras adjacentes não seja igual, sugerindo-se que a diferença entre os respectivos volumes e/ou dimensões lineares seja de, pelo menos, 10%. Indica-se, também, que o volume deverá ser superior a 50 m³. Ainda naquela norma, é indicada uma área aproximada de 10 m², para a abertura de ensaio, no caso de paredes, e de 10 a 20 m², para o caso de ensaios de pavimentos. Em ambas as situações, exige-se que o lado menor tenha um comprimento superior a 2,3 m. Para ensaios de janelas e envidraçados, admite-se que a área da abertura de ensaio seja inferior a 10 m², estabelecendo-se, no entanto, diversos requisitos a que deverá obedecer a parede de enchimento onde aqueles elementos deverão ser inseridos, a fim de realizar os ensaios para avaliar o respectivo isolamento sonoro.

Por outro lado, a norma NP EN ISO 354 [5] apresenta algumas exigências aplicáveis à câmara reverberante onde se realizam os ensaios de medição da absorção sonora, ao campo sonoro e à área de absorção sonora, e ainda ao provete de ensaio. Nomeadamente, o seu volume deve ser de, aproximadamente, 200 m³ e a sua geometria deverá permitir que seja verificada a condição seguinte:

$$l_{max} < 1,9V^{1/3}, \quad (1)$$

onde l_{max} representa o comprimento da maior linha recta contida nos limites da câmara e V refere-se ao volume da câmara.

No que diz respeito aos provetes de ensaio, que poderão ser elementos absorventes planos ou discretos, aquela norma fornece indicações sobre as suas dimensões e geometria e sobre a sua localização no interior da câmara reverberante, especificando diferentes tipos ou esquemas de montagem.

A implantação e a constituição das paredes das câmaras foram estudadas de modo a garantir as condições termo-higrométricas exigidas pela norma NP EN ISO 354 [5], a qual preconiza que a

humidade relativa se deve situar entre 30% e 90% e a temperatura deve ser superior a 15 °C. Garante-se ainda, que a temperatura ao longo de todo o ano seja inferior a 30 °C. Assim, têm-se observado temperaturas médias, em cerca de 22 °C, podendo, utilizar-se a expressão da velocidade de propagação do som indicada na mesma norma, para cálculo da área de absorção sonora equivalente.

Para além da verificação destas exigências, que condicionaram, desde início, a concepção e geometria das câmaras de ensaio, houve necessidade de proceder à análise de algumas das especificações acima referidas, após a construção das câmaras de ensaio. No presente artigo descrevem-se os dois conjuntos de câmaras acústicas construídos no ITeCons, analisando-se detalhadamente as opções tomadas nas fases de projecto e de especificação de equipamentos, e ainda questões relacionadas com os processos construtivos adoptados. Este artigo é complementado por outros dois, onde se dão a conhecer os trabalhos de preparação e caracterização das câmaras acústicas horizontais e verticais, perante os requisitos impostos pela normalização em vigor.

2 Descrição das câmaras acústicas

Os sistemas para ensaios de isolamento a sons aéreos em laboratório são compostos por duas câmaras, alinhadas horizontalmente para o ensaio de elementos verticais, ou alinhadas verticalmente para o ensaio de elementos horizontais. Em ambos os casos, as instalações laboratoriais aqui descritas consistem numa câmara fixa, usada como câmara receptora, e outra móvel, usada como câmara emissora.

Embora tanto as câmaras emissoras como as receptoras apresentem exigências específicas de comportamento acústico, é importante distinguir, desde já, as duas situações. De facto, quer nas câmaras horizontais, quer nas verticais, a câmara emissora irá, durante o ensaio, ter a presença de uma fonte sonora que gera níveis sonoros da ordem dos 100 dB. Nestas circunstâncias, o nível sonoro no interior desta câmara será claramente dominado pelo ruído emitido pela fonte, enquanto o ruído de fundo, proveniente da envolvente ou de instalações técnicas da própria câmara, será negligenciável. Assim, a exigência de isolamento a sons aéreos entre a câmara e o ambiente exterior não necessita de ser muito elevada, sendo suficiente contar com isolamentos da ordem dos 60 dB. Já no caso da câmara receptora, o nível sonoro que aí chega é bastante mais reduzido, e de forma a permitir o ensaio de elementos de construção de elevado isolamento (p.ex. 70 dB) é necessário garantir um isolamento bastante superior entre a câmara receptora e o exterior. Localizando-se estas câmaras acústicas num laboratório de ensaios com diversos equipamentos, apenas com um elevado índice de isolamento é possível evitar a contaminação dos resultados de ensaios por ruídos provenientes deste laboratório. Desta forma, definiu-se como requisito fundamental para a envolvente que esta tivesse um isolamento sonoro a sons aéreos o maior possível, e não inferior a 80 dB.

Por outro lado, os resultados de ensaios nestas câmaras poderiam, também, ser contaminados por vibrações que se propagam ao longo da estrutura das câmaras ou entre as estruturas da câmara emissora e receptora. Desta forma, torna-se essencial garantir um adequado isolamento destes dispositivos a vibrações. Esta preocupação torna-se ainda mais importante na medida em que as câmaras verticais serão também usadas para ensaios de isolamento a sons de percussão, situação em que as vibrações provenientes do exterior podem, ainda com mais significado, contaminar os resultados dos ensaios.

No sistema de ensaio aqui apresentado, a definição de um conceito de provete móvel é, também, essencial, sendo que apenas com um provete amovível se poderia rentabilizar a utilização da tecnologia atrás descrita. Neste sentido, os provetes de ensaio foram concebidos de forma a poderem ser removidos do espaço entre as duas câmaras e transportados para outros espaços do laboratório, com recurso a uma ponte rolante. Desta forma, torna-se mais expedito e simples todo o processo de ensaio, e permite-se que a construção e demolição de provetes seja realizada em outros locais onde

estes trabalhos não interfiram com o funcionamento do sistema de ensaio nem causem danos nos equipamentos existentes.

Apresentam-se, de seguida, os principais aspectos construtivos tidos em conta na concepção das câmaras acústicas do ITeCons, e que permitem fazer face às exigências atrás identificadas.

2.1 Câmaras horizontais

O sistema para ensaios de isolamento a sons aéreos é composto por duas câmaras, alinhadas horizontalmente, sendo uma delas fixa e a outra assente sobre um sistema de movimentação activado por um mecanismo hidráulico. A câmara fixa pode, ainda, ser usada para a realização de ensaios de determinação da absorção sonora de materiais e elementos de construção. A Figura 1 apresenta uma representação esquemática deste sistema, identificando as câmaras fixa e móvel.

Nos pontos que se seguem descrevem-se em maior detalhe alguns aspectos técnicos considerados relevantes no que respeita a estas duas câmaras.

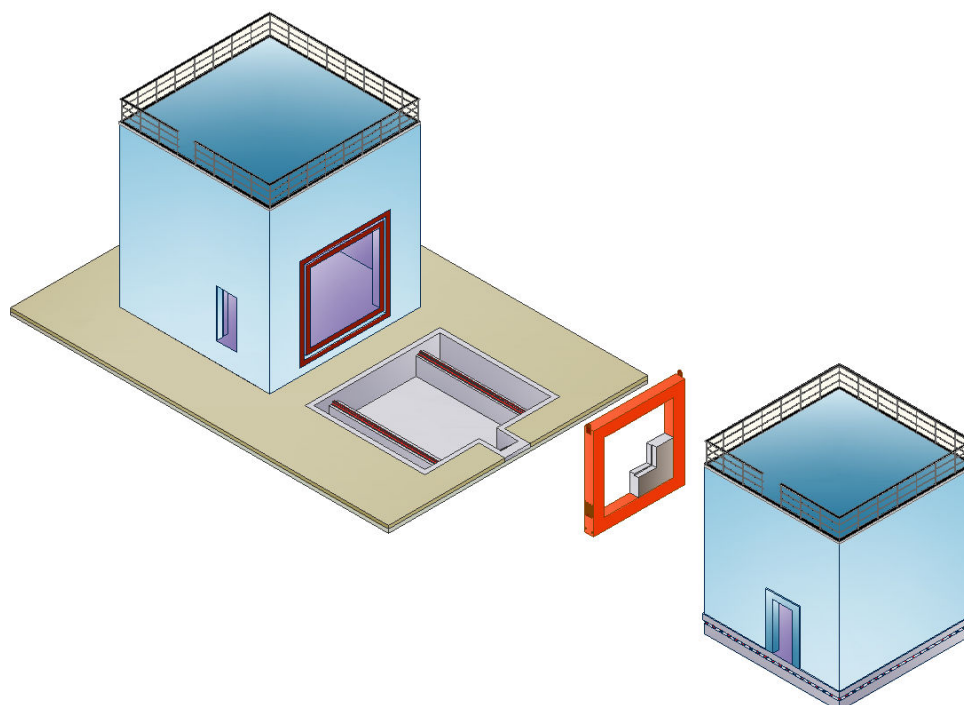


Figura 1 – Esquema geral do sistema de câmaras horizontais.

2.1.1 Câmara horizontal fixa

Para atingir os objectivos atrás identificados, a câmara designada como fixa é constituída por duas estruturas independentes, formando duas caixas que seguem o conceito de “box-in-a-box”. A estrutura da caixa interior é integralmente realizada em betão armado, com todas as suas superfícies em elementos planos com 20 cm de espessura. A caixa exterior, envolvendo a primeira, é constituída por uma estrutura reticulada em betão armado, com enchimento em alvenaria de tijolo de 22 cm de espessura, rebocado pelo exterior, com uma espessura de 2 cm. A cobertura desta estrutura é realizada em pavimento aligeirado de vigotas pré-esforçadas, e o seu pavimento é constituído por uma laje maciça de betão armado com 55 cm de espessura. Note-se que, de forma a garantir um índice de

isolamento a sons aéreos mais elevado nesta câmara, foi criada uma camada adicional em betão sobre a laje de vigotas, de tal forma que a espessura total da cobertura atingisse os 50 cm. A caixa-de-ar entre as duas estruturas, com 7 cm de espessura, foi integralmente preenchida com lã de rocha de 70kg/m^3 .

Para garantir o funcionamento como elemento duplo, as estruturas das duas caixas que constituem esta câmara são fisicamente desligadas entre si, apoiando-se a laje de pavimento da caixa interior num sistema de isolamento constituído por uma cofragem perdida de 18 mm (permitindo directamente a betonagem da laje de pavimento da câmara interior) sobre apoios antivibráticos de mola. Este sistema encontra-se assente na face superior da laje de pavimento da caixa exterior, sendo este o único contacto entre as duas estruturas (ver Figura 2).

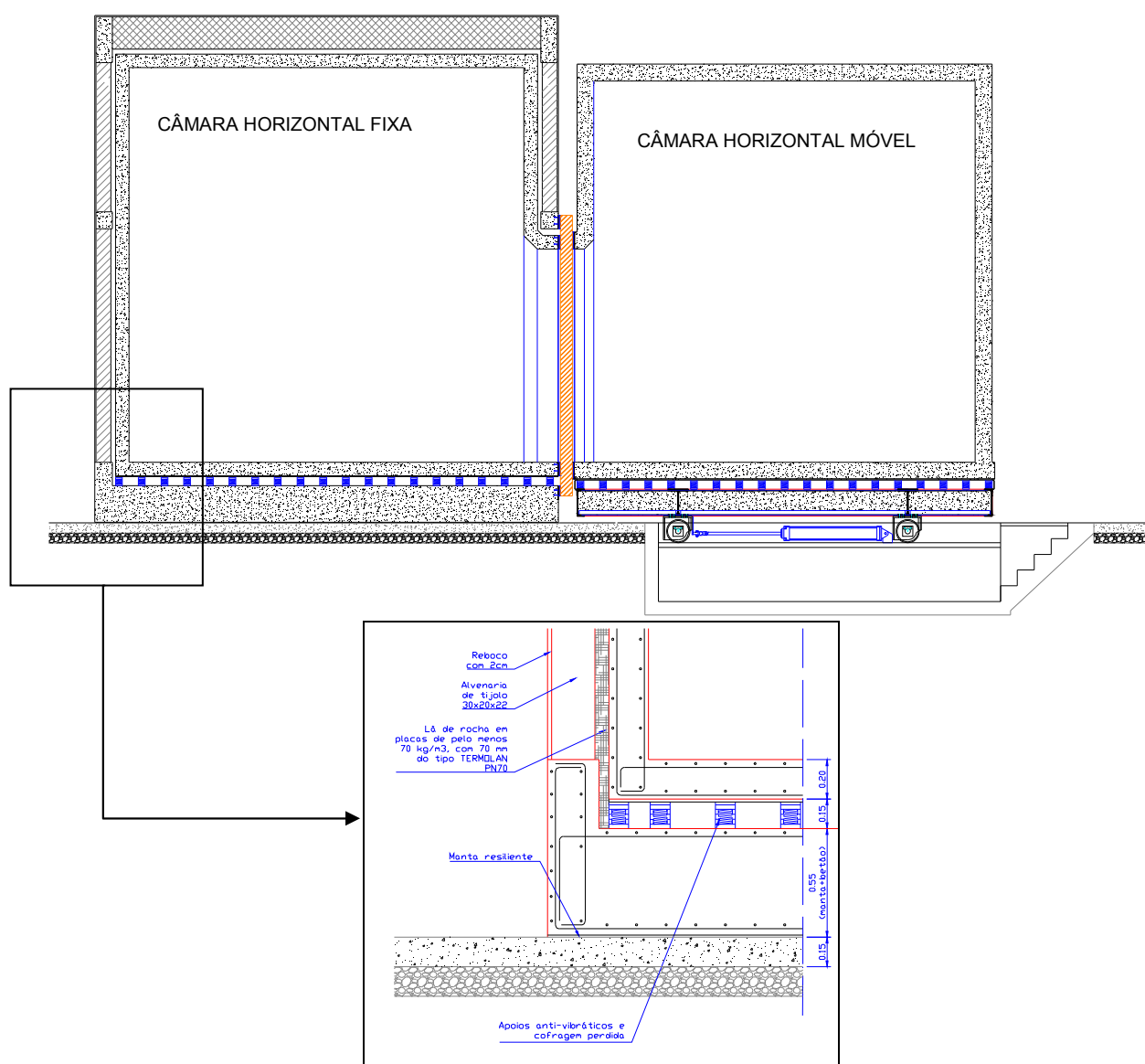


Figura 2 – Sistema de isolamento de vibrações da câmara horizontal fixa

O sistema aplicado, apresentando uma frequência natural de 4Hz, consistiu numa malha principal de apoios de mola, do tipo CDM HELIVIBRAM 2000/4 (com aproximadamente 3 unidades/m²), tendo sido instalados apoios adicionais do tipo CDM HELIVIBRAM 4000/4 no perímetro do pavimento da

câmara (onde os apoios recebem a carga proveniente das paredes). Com a aplicação deste sistema procurou-se proceder ao isolamento entre as duas caixas, impedindo a transmissão significativa de vibrações entre elas e minimizando, assim, o efeito dessas transmissões no resultado de ensaios de isolamento a realizar. Complementarmente, este sistema é, todo ele, isolado da laje térrea do próprio edifício onde se localizam estas câmaras através de uma manta resiliente em granulado de borracha do tipo CDM 43.010 (Figura 2). Na zona periférica das câmaras, onde assentam as paredes verticais em betão armado, aplicou-se uma manta com maior capacidade de carga, do tipo CDM 45.010.

Um aspecto fundamental na concepção destas câmaras era também o do tratamento de eventuais pontos fracos, no que respeita ao isolamento a sons aéreos. Um dos pontos sensíveis é constituído pelas portas de acesso ao interior das câmaras, que necessitam, obrigatoriamente, de um tratamento cuidado. Assim, este acesso foi realizado por um sistema de duas portas (Figura 3), estando uma instalada em cada caixa, e sendo cada uma delas especificada com uma exigência mínima de isolamento de 54 dB. O espaço entre as duas portas, nomeadamente o seu contorno, foi vedado com tela de forma a evitar a passagem de partículas da lã de rocha da caixa-de-ar.



Figura 3 – pormenor das portas de acesso ao interior da câmara fixa.

2.1.2 Câmara horizontal móvel

Tal como referido anteriormente, a concepção deste sistema de ensaio baseia-se no princípio da utilização de câmaras móveis e provetes amovíveis. Dada a menor exigência de isolamento existente para a câmara emissora, tomou-se a opção de a construir com apenas uma caixa de betão armado de maior espessura. A câmara móvel é, então, realizada com recurso a uma estrutura maciça de betão armado, sendo constituída por uma caixa única com paredes, pavimento e tecto com 25 cm de espessura, com golas de reforço com maior espessura na zona das aberturas de vãos, assentando esta caixa sobre um mecanismo de movimentação accionado por um sistema hidráulico. Ainda assim, também no caso desta câmara se optou por garantir o seu isolamento em relação ao ambiente exterior, razão pela qual também neste caso se recorreu a um sistema de isolamento em que a câmara assenta sobre uma cofragem perdida de 18 mm (permitindo directamente a betonagem da laje de pavimento da câmara) sobre apoios de mola do tipo CDM HELIVIBRAM 2000/4. Tal como para a câmara fixa, foram instalados, no perímetro da câmara, apoios adicionais do tipo CDM HELIVIBRAM 4000/4. Este sistema encontra-se assente na face superior de uma laje de betão armado com 40 cm de espessura, que, por sua vez, apoia no sistema de movimentação desta câmara. Uma representação esquemática do sistema de isolamento pode observar-se na Figura 4.

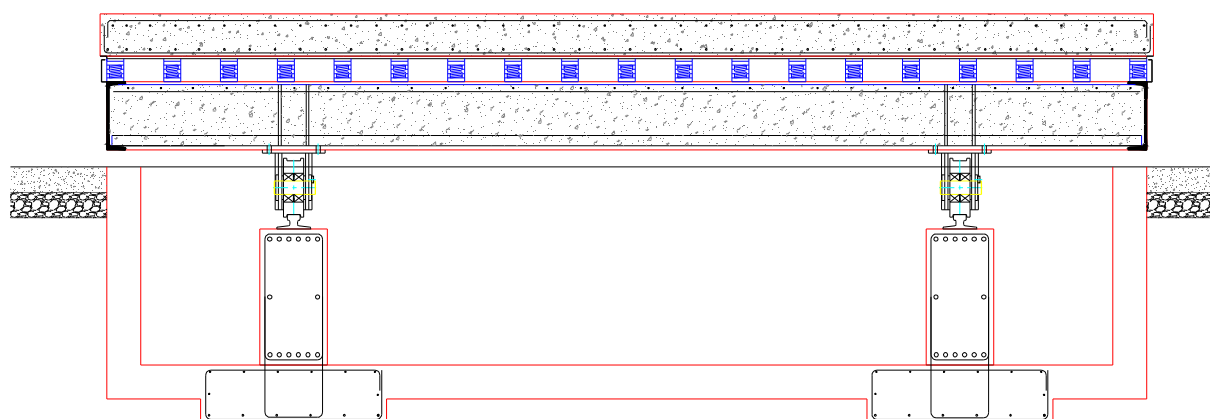


Figura 4 – Esquema do sistema de isolamento adoptado para a câmara horizontal móvel.

É ainda importante fazer aqui referência ao sistema que permite a movimentação da câmara móvel (Figura 5), sistema esse, accionado por um módulo hidráulico que garante um controlo preciso da aplicação de carga para a movimentação. Este sistema apresenta a possibilidade de selecção entre duas velocidades de movimento (1 mm/min e 10 mm/min), sendo a mais lenta usada para o ajuste fino da câmara, quando se procede ao aperto do aro do provete de ensaio. É também possível controlar a força de aperto de forma a manter a pressão dentro de limites pré-estabelecidos. Sob o sistema de movimentação existe um fosso acessível, destinado a operações de reparação e manutenção.

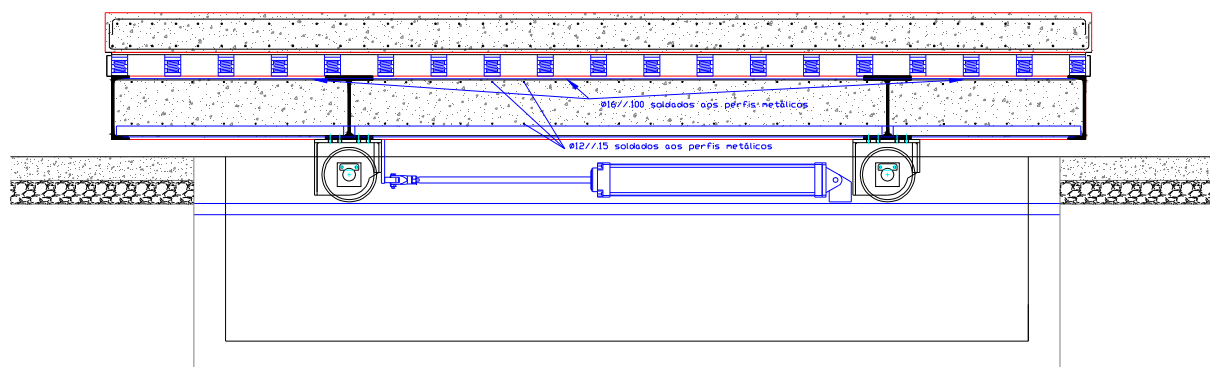


Figura 5 – Esquema do sistema de movimentação da câmara horizontal móvel.

Tal como no caso anterior, a especificação das portas de acesso a esta câmara obedeceu a requisitos de elevado desempenho acústico, mantendo-se a exigência e os cuidados indicados anteriormente. No entanto, tratando-se de uma única caixa em betão armado as duas portas encontram-se fixas à mesma estrutura.

2.1.3 Provetes de ensaio

O provete a ensaiar é construído no interior de um aro pré-fabricado, com estrutura em chapa de aço, formando uma secção tubular, reforçada com septos transversais, preenchida com betão. Este aro pode ser concebido de forma a ter a espessura adequada ao provete que se queira ensaiar. O aro (Figura 6-a) apresenta uma área aberta quadrada, onde é construído o provete com 10 m², cumprindo as exigências da norma NP EN 20140-3 [2]. Note-se, ainda, que o contacto com a estrutura das duas câmaras

acústicas se realiza apenas através deste aro, não sendo o provete sujeito a qualquer pressão de aperto aquando da movimentação da câmara móvel.



Figura 6 – Aspecto dos aros de provetes de ensaio: a) aro com provete de alvenaria revestida a gesso projectado para ensaio; b) aro usado para ensaio de isolamento a sons aéreos de janelas e envidraçados.

Quando este provete se encontra instalado entre as duas câmaras, é accionado o sistema de movimentação da câmara móvel, movendo-se esta no sentido de apertar o aro do provete de ensaio contra a câmara fixa. Para que este processo seja eficaz, torna-se necessário que exista uma boa vedação entre o provete e as duas câmaras. Para tal, recorreu-se à aplicação de tiras resiliente, em borracha, em todo o contorno da abertura de inserção do provete, em cada uma das câmaras de betão armado. No caso da câmara fixa aplicaram-se dois conjuntos de tiras resiliente, um na zona da abertura correspondente à caixa exterior, e outro na zona correspondente à caixa interior. Em ambos os casos, estas tiras são do tipo CDM 02.040. Estes dispositivos foram especificados de forma a apresentarem uma frequência de ressonância da ordem dos 10 Hz. No caso da câmara móvel, foi aplicada apenas uma tira do tipo CDM 05.040 (veja-se Figura 7).



Figura 7 – Zona onde se insere o aro do provete de ensaio na câmara horizontal móvel: a) aspecto geral; b) pormenor das bandas de isolamento para encosto dos aros.

Note-se que, de forma a não danificar este sistema de apoio, o aperto final das câmaras móveis é realizado com a velocidade mais reduzida, sendo o provete apertado entre as duas câmaras até que a

força exercida seja de 300 kN. Desta forma garante-se, por um lado, a completa vedação do espaço entre o provete e as câmaras e, por outro, que as borrachas de apoio não ficam danificadas.

Foram desenvolvidos alguns provetes destinados a tipos de ensaio específicos, nomeadamente um outro para a realização de ensaios de determinação da absorção sonora de materiais e elementos de construção, e para a realização de ensaios de isolamento a sons aéreos de envidraçados e paredes. No primeiro caso, a preocupação fundamental era a de garantir que as superfícies do provete em contacto com a câmara de ensaio (fixa) fossem as mais reflectoras possíveis. Para tal, foi construído um provete em betão armado, com 30 cm de espessura, e em que uma das superfícies apresenta um aspecto vidrado, garantindo um coeficiente de absorção muito baixo. No que respeita ao provete para ensaio de envidraçados, este é apresentado na Figura 6-b, onde se pode observar a existência de uma abertura com $1.51 \times 1.25 \text{ m}^2$ para instalação do provete. A concepção e construção deste aro seguiu as especificações constantes da norma NP EN 20140-3 [2]

2.2 Câmaras verticais

O ensaio de isolamento a sons aéreos ou a sons de percussão de elementos horizontais é realizado em câmaras verticais de ensaio sobrepostas, sendo a fonte sonora ou a máquina de impactos normalizados colocada sobre o pavimento que se pretende ensaiar, na câmara superior (emissora), e funcionando a câmara inferior como receptora. No caso das câmaras acústicas do ITeCons, optou-se, tal como nas câmaras horizontais, pela definição de um sistema móvel, em que a câmara superior pode ser removida com o auxílio de uma ponte rolante. Também neste caso, o provete de ensaio, construído num aro metálico preenchido com betão, é amovível, podendo ser movimentado com auxílio de uma ponte rolante. Na Figura 8 pode observar-se esta instalação de ensaio, com as duas câmaras sobrepostas e com um provete interposto entre ambas.

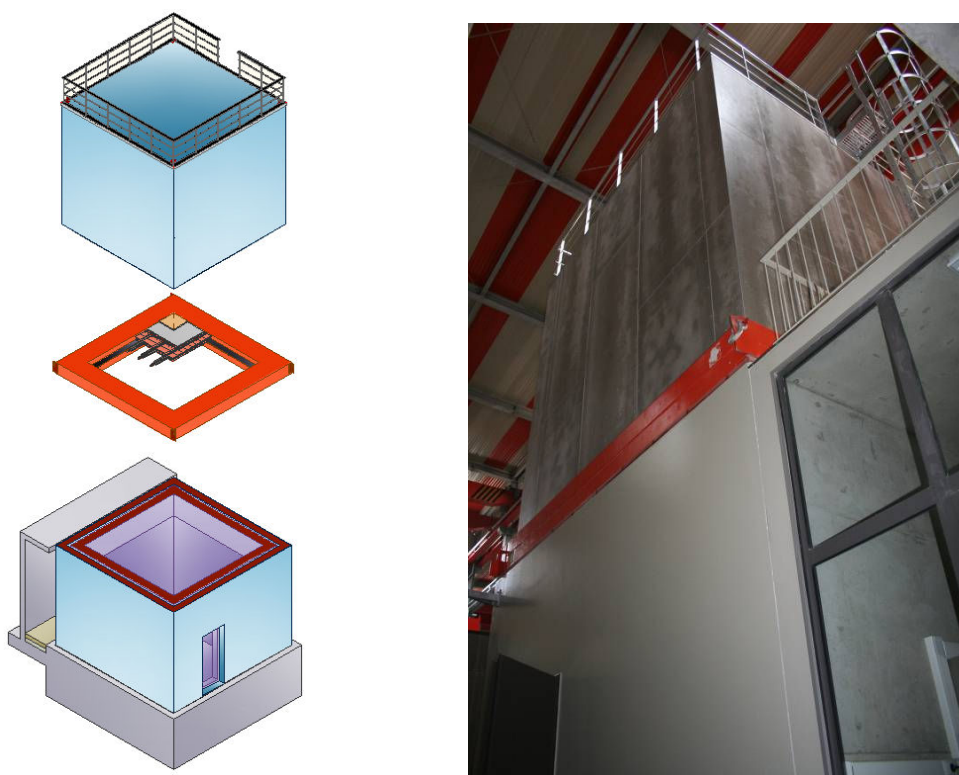


Figura 8 – Câmaras verticais de ensaio: a) esquema geral do sistema das câmaras verticais; b) fotografia das câmaras com um provete instalado.

Descrevem-se, seguidamente, os principais aspectos tidos em conta no projecto e execução desta instalação.

2.2.1 Câmara vertical fixa (inferior)

Esta câmara pode ser descrita como sendo constituída por duas caixas construídas uma dentro da outra, com a face superior aberta. Sobre esta face é colocado o pavimento a ensaiar. A composição estrutural da câmara receptora vertical é semelhante à da câmara receptora horizontal, ver Figura 9.

As paredes da caixa interior, de betão armado, exibem a mesma espessura que as da câmara receptora horizontal, tendo sido fabricados com o mesmo tipo e classe de betão. A laje de pavimento da caixa exterior, em betão armado, com cerca de 20 cm de espessura, assenta na laje do piso térreo do próprio edifício. A parede exterior, em alvenaria de tijolo com uma espessura de 22 cm, rebocada pelo exterior, encontra-se travada por uma estrutura reticulada de betão armado de forma semelhante à da câmara horizontal fixa. A separação entre as duas paredes, com 7 cm de espessura, foi preenchida com lã de rocha de 70 kg/m³.

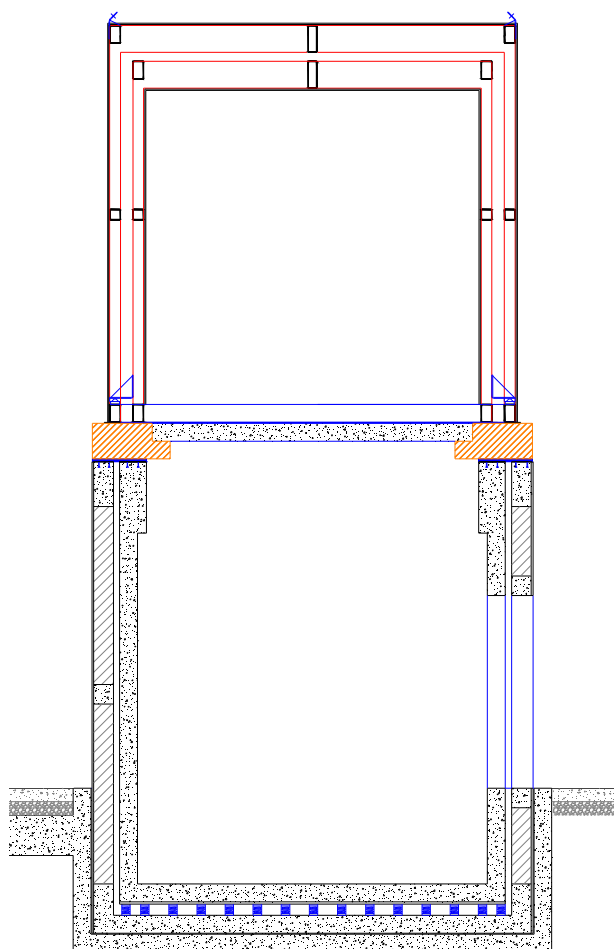


Figura 9 –Esquema geral do sistema de câmaras verticais.

As estruturas das duas caixas que constituem esta câmara são fisicamente desligadas entre si, apoiando a laje de pavimento interior num sistema de isolamento de cofragem perdida de 18 mm sobre apoios antivibráticos de mola. Este sistema encontra-se assente na face superior da laje de pavimento exterior,

sendo o único contacto entre as duas estruturas (ver Figura 10). O sistema aplicado, apresentando uma frequência natural de 4Hz, consistiu numa malha principal de apoios de mola, do tipo CDM HELIVIBRAM 2000/4 (com aproximadamente 3 unidades/m²), sendo que no perímetro do pavimento da câmara (onde os apoios recebem a carga proveniente das paredes) foram instalados apoios adicionais do tipo CDM HELIVIBRAM 4000/4. De modo a desligar esta câmara da estrutura da laje do piso térreo do edifício, utilizou-se uma manta resiliente em granulado de borracha do tipo CDM 43.010 no interior e outra do tipo CDM 45.010 na periferia da câmara (Figura 10). As caixas interior e exterior são coroadas por tiras resilientes de borracha, do tipo CDM 05.055 e CDM 95.05, respectivamente, determinando uma frequência de ressonância de 11 Hz.

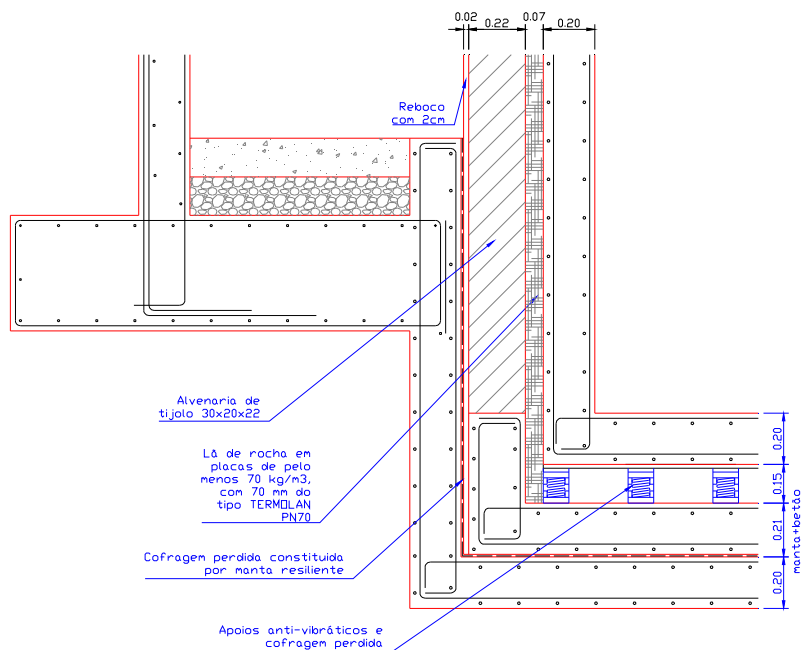


Figura 10 – Sistema de isolamento de vibrações da câmara vertical fixa.

2.2.2 Câmara móvel (superior)

Como se referiu anteriormente, a câmara vertical emissora é móvel, tendo que ser elevada através do auxílio de equipamento de elevação. Dado que esta câmara é constituída por duas estruturas metálicas, uma interior e outra exterior, que deverão manter-se separadas fisicamente, colocou-se o problema da elevação do conjunto, visto só haver acesso a pontos de suspensão na estrutura exterior. Concebeu-se, então, um sistema de guiamento e centragem que permite que, após uma elevação de 20 mm da estrutura exterior, esta passe a suspender a interior, elevando-se depois em conjunto. A manobra de descida é inversa, deslocando-se as duas estruturas em conjunto, até a estrutura interior atingir a base, ficando a estrutura exterior a uma altura de 20 mm. A partir daí, apenas a estrutura exterior desce, separando-se fisicamente da interior. Uma representação esquemática do sistema de encaixe entre as estruturas exterior e interior da câmara vertical móvel pode encontrar-se na Figura 11.

Face à necessidade de elevação, teve que se projectar uma câmara com o menor peso possível, não descurando, no entanto, o isolamento acústico. Para o feito, as duas estruturas metálicas foram concebidas com perfis rectangulares ocós: à estrutura exterior foi aplicado, pelo exterior, uma sanduiche constituída por duas placas de aparas de madeira aglomeradas com cimento, “Viroc”, de 16 mm + 16 mm, uma membrana acústica da “Danosa” de 4 mm de espessura, MAD4 e uma placa de “Viroc” de 22 mm; à estrutura interior, do lado de fora (ou seja, entre as duas estruturas), foi aplicada uma placa de “Viroc”, com 22 mm de espessuras; pelo interior da estrutura interior foi aplicada uma

sanduíche constituída por duas placas de “Viroc”, com espessuras de 12 mm, intercaladas com uma membrana acústica MAD4. Entre as duas estruturas colocou-se lã de rocha de 7 cm de 70 kg/m^3 de densidade, preenchendo parcialmente a caixa de ar. Entre as placas de “Viroc” existentes na estrutura interior, a caixa de ar foi completamente preenchida pela mesma lã mineral. Todas as juntas das placas de “Viroc” foram bem colmatadas e seladas com um betume de colagem, “cola e veda”, e para as camadas múltiplas teve-se o cuidado de desencontrar as juntas.

Cada uma destas estruturas tem acoplado na base uma tira resiliente de borracha do tipo CDM 02.040, em todo o seu perímetro, que assenta no aro do provete a ensaiar. Este último apoia igualmente em bandas elásticas colocadas no topo da câmara vertical fixa, tal como descrito na secção anterior.

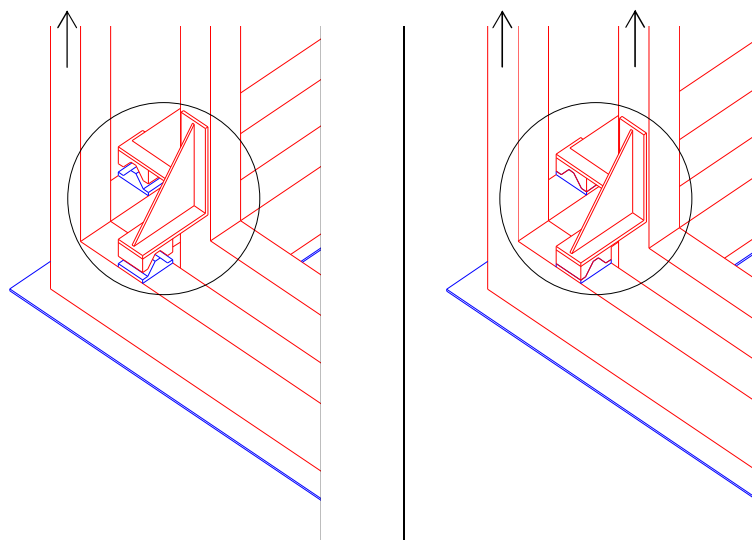


Figura 11 – Sistema de encaixe entre as estruturas, exterior e interior da câmara vertical móvel: a) antes da elevação da câmara; b) durante o processo de elevação da câmara.

Tal como nos casos anteriores, a especificação das portas de acesso a esta câmara obedeceu a requisitos de elevado desempenho acústico, mantendo-se as exigências e os cuidados indicados anteriormente. Cada porta está apenas ligada a uma das estruturas, de forma independente.

2.2.3 Provetes de ensaio

O provete a ensaiar (Figura 12) é apoiado no bordo interior de um aro pré-fabricado, com estrutura em chapa de aço, preenchida com betão.

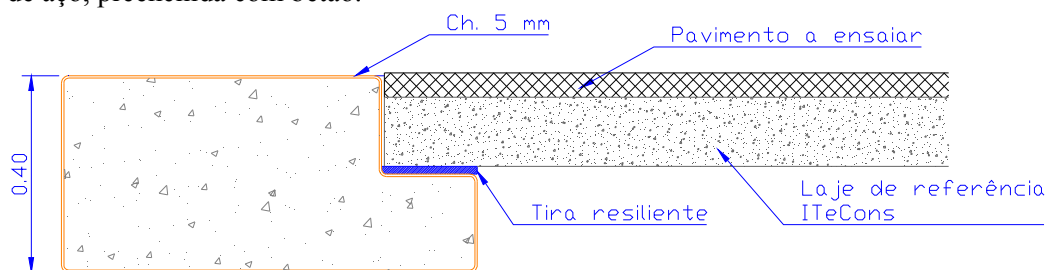


Figura 12 – Pormenorização do apoio do provete horizontal.

O rebaixo criado na estrutura do aro, permite um apoio de 20 cm, para as lajes a ensaiar as quais são separadas do aro através de uma banda elástica de borracha com 20 mm de espessura. Este aro apresenta uma área aberta quadrada de 10 m^2 , onde é construído o provete com $12,69 \text{ m}^2$. Note-se,

ainda, que o contacto com a estrutura das duas câmaras acústicas se realiza apenas através deste aro, separado pelas já referenciadas bandas elásticas, de modo a evitar ligações rígidas entre estes elementos. O aperto entre câmaras é garantido pelo peso da câmara vertical móvel, com cerca de 25 t. Para ensaio de pavimentos, revestimentos de pisos e de tectos, foi construída uma laje em betão armado com uma espessura de 14 cm (Figura 13). Na periferia desta laje foi colocada uma chapa quinada em L, com 5 mm de espessura, 180 mm de largura e 140 mm de altura, a qual serviu igualmente de cofragem permitindo um desempenho perfeito da laje. Esta chapa permite ainda uma melhor conservação desta laje e garante um adequado contacto entre o pavimento e as bandas de borracha colocadas no bordo interior do aro pré-fabricado. Procurou-se, também, garantir que a superfície da laje de betão armada se encontrava o mais plana possível, e livre de empenos.

A laje assim construída permitiu caracterizar a câmara quando se avalia o isolamento a sons aéreos de um pavimento pesado, referenciado na norma NP EN ISO 140-1 [6] e pode ser utilizada como laje de referência mencionada na norma NP EN ISO 140-8 [4]. Para a medição da redução da transmissão sonora de revestimento de piso, foram executadas duas lajetas (Figura 13), com 50 mm e 70 mm de espessura, ambas amovíveis através de uma ponte rolante e nas quais se procurou, igualmente, garantir um perfeito desempenho das faces.

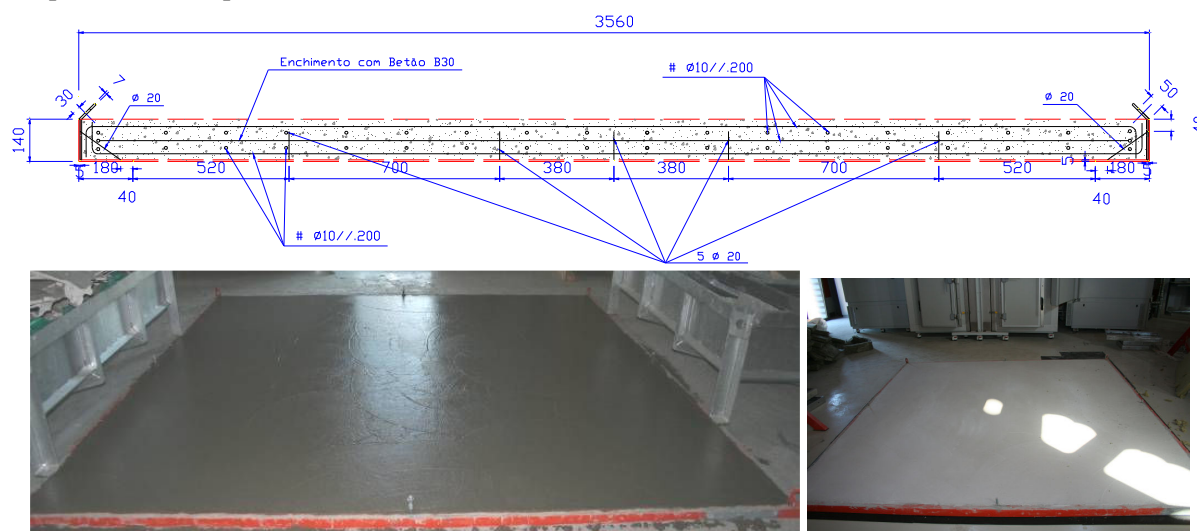


Figura 13 – Constituintes do provete: a) Laje de betão armado b) lajeta de betão armado.

2.3 Sistema de aquisição de dados

As câmaras acústicas do *ITeCons* foram projectadas de modo a poderem ser controladas a partir de uma sala de controlo, localizada na vizinhança das instalações de ensaio, de forma a que os ensaios acústicos possam decorrer sem influência de factores humanos. A partir desta sala de controlo, é possível visionar o decorrer dos ensaios, sem necessidade de ali aceder, através de câmaras instaladas no seu interior e acessíveis a partir da rede informática estruturada do edifício.

Foi prevista, em projecto, a instalação das cablagens necessárias ao controlo da operação dos equipamentos de ensaio e de aquisição de dados, nomeadamente das fontes sonoras (omnidireccional de ruídos aéreos e normalizada de percussão) e dos microfones estáticos e rotativos montados em girafas giratórias.

O equipamento de aquisição de sinal é baseado num sistema multianalisador *Pulse*, modelo 3560-C-T46, da marca “*Bruel & Kjaer*”, com cinco canais. A este sistema conectam-se os microfones instalados no interior das câmaras acústicas, os acelerómetros utilizados para registo das vibrações nos

provetes de ensaio e as fontes sonoras de ruídos aéreas, que comandam o gerador de ruído nelas incorporado.

3 Considerações finais

Descreveram-se, neste trabalho, o projecto e os processos construtivos usados na construção das câmaras acústicas móveis existentes no *ITeCons*, para a realização de ensaios de isolamento a sons aéreos, isolamento a sons de percussão e absorção sonora de elementos construtivos. Procurou-se, ao longo deste documento, justificar as várias opções tomadas na fase de projecto, bem como os cuidados tidos na execução de forma a garantir um funcionamento adequado deste equipamento de ensaio. As câmaras aqui descritas foram definidas e especificadas tendo em atenção as exigências constantes da normalização em vigor, de forma a permitir a realização de ensaios reconhecidamente válidos para a caracterização de elementos de construção. Julga-se que este sistema de ensaio, pela sua especificidade e pelas potencialidades que evidencia, se constitui como um equipamento único e relevante a nível nacional.

Agradecimentos

Os trabalhos apresentados no presente artigo inserem-se no âmbito da colaboração dos investigadores do Centro de Investigação em Ciências da Construção CICC da FCTUC com o instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção ITeCons.

O projecto de criação do *ITeCons*, incluindo o desenvolvimento das suas instalações e aquisição de equipamentos, foi financiado ao abrigo da Medida III.11 - Economia, Linha de Acção "Criação de Novas Infra-Estruturas do Sistema Tecnológico", inserido no Programa Operacional da Região Centro (PO Centro), e promovido pelo Ministério da Economia e pela União Europeia.

Referências

- [1] NP EN ISO/IEC 17025, 2005 *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories* IPQ, 2005.
- [2] NP EN 20140-3 - *Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 3: Medição em laboratório do isolamento sonoro a sons aéreos de elementos de construção.* IPQ, 1998.
- [3] NP EN ISO 140-6 - *Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção Parte 6: Medição, em laboratório, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão.* IPQ, 2000.
- [4] NP EN ISO 140-8 - *Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 8: Medição em laboratório da redução de transmissão sonora de revestimento de piso em pavimento normalizado.* IPQ, 2008.
- [5] NP EN ISO 354 - *Medição da absorção sonora em câmara reverberante.* IPQ, 2007.
- [6] NP EN ISO 140-1 - *Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção Parte 1: Especificações para laboratórios sem transmissão marginal.* IPQ, 2001.