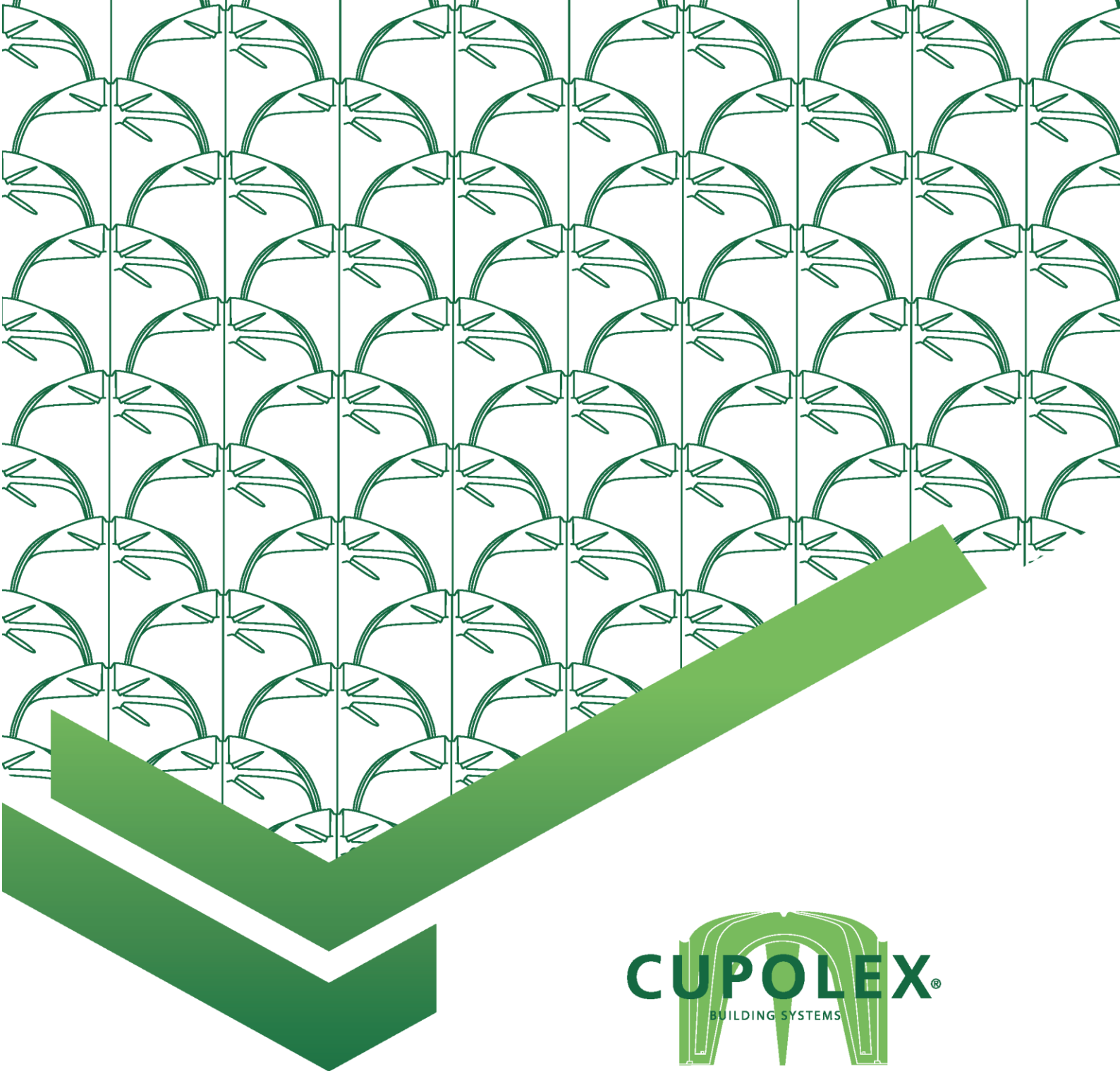




MANUAL TÉCNICO





Manual Técnico – Sistema Cupolex

ÍNDICE

INTRODUÇÃO AO SISTEMA CUPOLEX	4
PORQUÊ UTILIZAR O SISTEMA CUPOLEX	5
<i>QUALIDADE.....</i>	<i>6</i>
<i>FLEXIBILIDADE.....</i>	<i>6</i>
<i>PERFORMANCE.....</i>	<i>6</i>
<i>SUSTENTABILIDADE.....</i>	<i>6</i>
CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA CUPOLEX.....	7
PRESCRIÇÃO DE UM PAVIMENTO CUPOLEX.....	9
DETALHE DE UM PAVIMENTO CUPOLEX	10
EXECUÇÃO DE UM PAVIMENTO CUPOLEX.....	14
<i>POLIPROPILENO.....</i>	<i>15</i>
<i>REQUISITOS AMBIENTAIS.....</i>	<i>15</i>
<i>INTRUSÃO DE VAPORES E CONTROLO DO GÁS RÁDON.....</i>	<i>16</i>
<i>VENTILAÇÃO MAIS EFICIENTE.....</i>	<i>16</i>
<i>POTENCIAL DE VENTILAÇÃO PASSIVA.....</i>	<i>16</i>
<i>SOLUÇÃO PARA REDUÇÃO DE HUMIDADE E BOLOR E MELHORIA DA QUALIDADE DO AR INTERIOR</i>	<i>17</i>
<i>SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA VAPOR.....</i>	<i>17</i>
<i>DADOS DOS TESTES DE CARGA REALIZADOS EM ESTRUTURAS CONSTRUÍDAS SOBRE CUPOLEX</i>	<i>18</i>



INTRODUÇÃO AO SISTEMA CUPOLEX

O sistema **Cupolex** assenta em princípios de racionalização económica e ambiental que permitem a execução de enchimentos e pavimentos térreos ventilados com claras vantagens do ponto de vista da funcionalidade e do conforto. Garantindo pela ventilação dos vazios criados e pela descontinuidade das superfícies um perfeito isolamento dos espaços interiores da construção face à envolvente externa, os pisos **Cupolex** conferem uma proteção face à humidade, às perdas térmicas e aos vapores provenientes do contacto com o solo, com reflexos positivos na salubridade do espaço habitacional.

Constituído por material 100% reciclado, o sistema **Cupolex** contribui ainda para uma maior eficiência na utilização dos fatores de produção, nomeadamente ao nível dos materiais, evitando a utilização de recursos naturais e de quantidades desnecessárias de betão, e dos recursos humanos em virtude da simplicidade de aplicação do sistema.

A tecnologia **Cupolex** é de origem italiana e encontra-se já largamente difundida em mercados que vão dos EUA à Nova Zelândia e resulta de um continuado esforço de investigação e desenvolvimento da Pontarolo Engineering escrutinado por um programa de testes e ensaios levado a cabo em instituições italianas de referência.



PORQUÊ UTILIZAR O SISTEMA CUPOLEX

O DESAFIO CUPOLEX

O sistema **Cupolex** foi criado com o intuito de permitir a engenheiros, projetistas e arquitetos a prescrição de uma solução tecnicamente evoluída, economicamente competitiva e ambientalmente sustentável para os seguintes desafios:

- Deformação e retração da laje;
- Eliminar humidades ascendentes;
- Eliminar o efeito do Gás rádón e intrusão de vapores;
- Melhorar a qualidade do ar e conforto do espaço habitacional;
- Redução do impacto ambiental da construção;
- Redução do tempo de construção;
- Redução do uso de agregados;
- Expansividade do solo.

AS VANTAGENS CUPOLEX

O sistema **Cupolex** assenta as suas vantagens em três pilares essenciais, performance, economia e sustentabilidade que permitem responder aos desafios anteriormente enumerados.

Comportamento

- Adaptável a qualquer geometria
- Criação de caixa-de-ar ventilada
- Criação de barreira a humidades e vapores ascendentes
- Melhoria do comportamento térmico
- Possibilidade de instalações diversas na caixa-de-ar
- Resistente a cargas até 18kN/m²
- Eliminação do gás cancerígeno, Rádón

Economia

- Processo de instalação célere e simples
- Redução do consumo de betão e aço
- Redução de custos com mão-de-obra e equipamentos
- Redução de transportes, uma paleta de Cupolex equivale a três carros de brita
- Possibilidade de betonagem conjunta com outros elementos estruturais

Sustentabilidade

- Redução de custos com climatização
- Redução da emissão de CO₂
- Utilização de material 100% reciclado
- Maior eficiência na utilização de recursos naturais
- Redução dos transportes de materiais para a obra e correspondente emissão de CO₂



CUPOLEX - A GARANTIA DE UMA SOLUÇÃO

QUALIDADE

O sistema **Cupolex** garante ambientes mais saudáveis e oferece vantagens sobre as lajes convencionais, nomeadamente na facilidade de construção, na redução de custos e do tempo de construção, com mais de 500 milhões de metros quadrados executados em pavimentos residenciais, comerciais e industriais apresenta-se como uma solução largamente testada. Os produtos **Cupolex** são fabricados de acordo com os requisitos de qualidade ISO 9001:2015, garantindo características superiores de estabilidade e resistência na sua estrutura.

FLEXIBILIDADE

Decorrendo da sua forma modular e acrescida das unidades Beton Stop, qualquer tipo de pavimento térreo ou geometria pode ser facilmente obtido pela distribuição do sistema **Cupolex**. A gama completa do sistema contempla alturas padrão a partir de 9.5 até 70cm e a possibilidade de as conjugar em vários níveis permitindo assim a obtenção da altura de pavimento/enchimento pretendida.

PERFORMANCE

O sistema **Cupolex** fornece uma cofragem perdida que permite pela sua estabilidade, quando acoplado, a circulação de pessoas e equipamentos durante o processo construtivo, o sistema foi testado a seco de forma a garantir sobre as cúspides e lateralmente a capacidade resistente a uma carga de 150 kg, assegurando desta forma o célere desenvolvimento dos trabalhos inerentes à sua execução.

A solução final **Cupolex** oferece igualmente capacidades de carga que ultrapassam os 1800 kg/m² conforme testes elaborados no âmbito da certificação do sistema, o que garante a viabilidade deste sistema para as mais diversas aplicações, desde pavimentos residenciais a pavimentos industriais.

SUSTENTABILIDADE

Num universo onde a sustentabilidade dos recursos naturais assume crescente importância a utilização de materiais reciclados para constituição dos vazios e a redução das necessidades de betão permitem que o sistema **Cupolex** promova por si só uma estrutura com menor impacto ambiental e significativa redução da emissão de CO₂ inerente ao processo construtivo.

Feito a partir de matéria-prima 100% reciclada o **Cupolex** promove duplamente a sustentabilidade do ponto de vista ambiental do sistema construtivo, uma vez que contribui em simultâneo para a reutilização de bens reciclados e para redução do consumo de recursos naturais, sendo um dos impactos diretos visível no volume de transportes para a obra.

Do ponto de vista económico a solução **Cupolex** reduz a dependência dos recursos naturais e os custos com mão-de obra do processo construtivo e reduz significativamente custos de exploração ao longo do ciclo de vida da estrutura.





CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA CUPOLEX

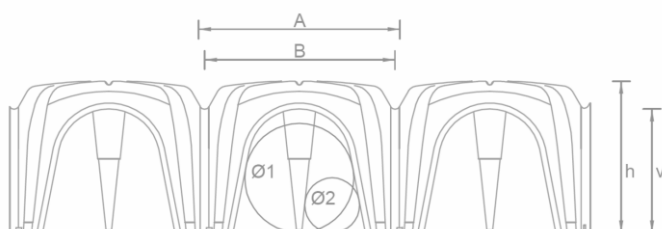
O sistema **Cupolex** compõe-se de peças plásticas (PP - polipropileno reciclado) que perfazem quando acopladas uma cofragem perdida para constituição de lajes de pavimento térreo ou enchimentos. O sistema não tem por si só qualquer função resistente, mas antes a função de conferir ao betão depositado uma geometria autossustentável graças às cúpulas e aos inúmeros apoios assim criados, permitindo em simultâneo a livre circulação em fase de montagem.

A gama completa do sistema inclui uma variedade de dimensões compreendidas entre os 9.5 cm e os 70.0 cm permitindo um conjunto diverso de soluções e configurações com cargas admissíveis até 18 kN/m².

Os modelos **Cupolex** Windi com alturas de 5 e 10cm foram especificamente projetados para utilização em terraços e coberturas, garantindo a descontinuidade do betão a colocar face à base de suporte proporcionando o isolamento e ventilação destas superfícies. Pelas suas dimensões o módulo Windi resulta igualmente em obras de reabilitação permitindo a criação de um pleno de recolha das humidades ascendentes e o correspondente isolamento do espaço interior.

PARÂMETROS PRINCIPAIS DO SISTEMA CUPOLEX

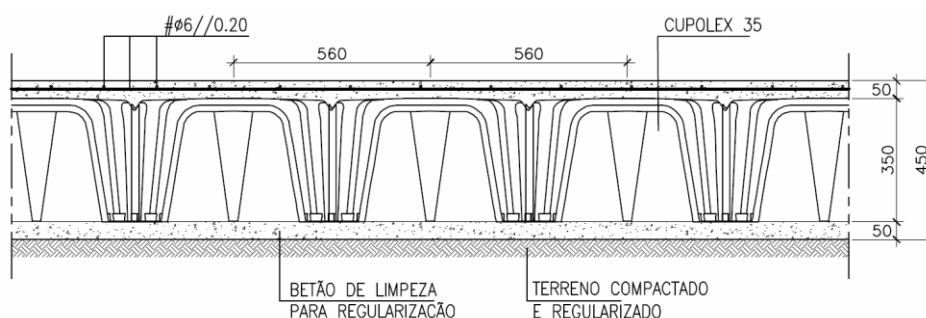
Modelo Cupolex		9.5	13.5	16	20	26	30	35	40	45	50	55	60	65	70	W5	W10
Consumo de Betão	[m³/m²]	0.014	0.030	0.035	0.035	0.035	0.042	0.045	0.060	0.064	0.065	0.069	0.070	0.071	0.073	0.008	0.011
Altura Total (h)	[cm]	9.5	13.5	16	20	26	30	35	40	45	50	55	60	65	70	5	10
Altura do Vazio (v)	[cm]	7	9	10.6	15	19	26	30	31	35	46	46	51	56	61	3	8
Largura Total (A)	[cm]	57	58	58	58	58	57	58	58	58	57	74.5	74.5	74.5	74.5	-	-
Largura Útil (B)	[cm]	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	71	71	71	71	56	56
Ø1	[mm]	-	90	90	125	180	250	300	250	300	300	450	460	470	480	-	75
Ø2	[mm]	70	80	80	100	145	145	150	140	150	150	-	-	-	-	30	50
Nº de Unidades	[un/m²]	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	1.98	1.98	1.98	1.98	3.19	3.19
Beton Stop	[-]	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●



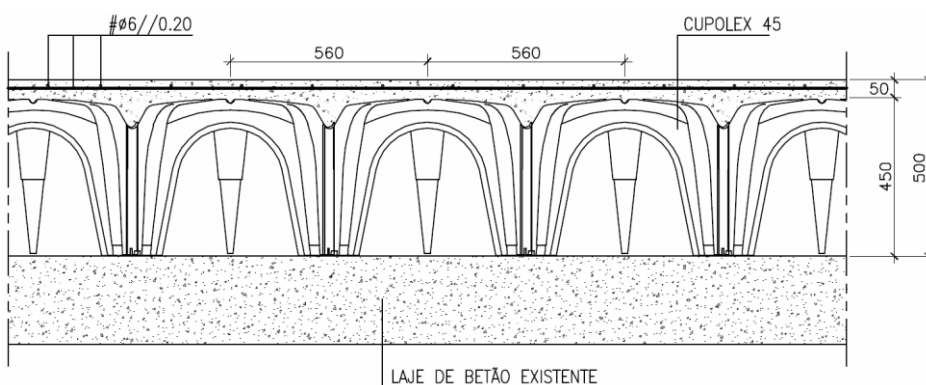


CONFIGURAÇÃO DE UM PAVIMENTO CUPOLEX

Um pavimento ou enchimento **Cupolex** deverá desde logo ter em consideração uma base sólida para apoio dos módulos do sistema, que deverá ser garantida no caso de um pavimento térreo com a compactação do terreno do substrato e pela aplicação de uma camada de betão de limpeza. Sobre esta base os módulos **Cupolex** serão colocados da esquerda para a direita e de cima para baixo conforme setas existentes nas próprias peças. A altura final do pavimento será dada pela soma da altura do Cupolex (indicada até à cúspide) com a lâmina de compressão prescrita.



Secção tipo de pavimento térreo Cupolex



Secção tipo de enchimento Cupolex

Na análise do consumo total de betão deverá considerar-se igualmente a soma do consumo indicado na tabela anterior (até à cúspide do módulo) com o betão previsto para a lâmina de compressão.

Consumo total de betão = Consumo do módulo Cupolex + Consumo da lâmina de betão

PRESCRIÇÃO DE UM PAVIMENTO CUPOLEX

O sistema **Cupolex** não é um sistema estrutural.

O sistema **Cupolex** constitui-se por uma cofragem perdida que permite a execução de um volume de betão com a configuração que permite garantir as vantagens previamente identificadas do sistema. A secção de betão daí resultante é ela própria auto-portante beneficiando da forma das abóbodas e múltiplos apoios que o sistema garante.

O dimensionamento da secção de betão, nomeadamente lâmina de compressão e altura, bem como das necessidades de armadura resulta das cargas impostas e da deformabilidade da base de apoio do pavimento inerente às características intrínsecas do solo e à geometria do pavimento. Para situações regulares em que se garante por via da compactação ou execução de um betão de limpeza uma base com coeficiente de Winkler igual a 1kg/cm³, são recomendadas as seguintes lâminas e armaduras mínimas consoante os seguintes casos de cargas genérico.

Ocupação	Carga Permanente (kg/m ²)	Sobrecarga de utilização (kg/m ²)	Espessura da lâmina (mm)	Armadura mínima em varão
Estacionamento	100	300	40	#6//0.25
Habitação	400	200	50	#6//0.20
Escritórios	200	300	50	#6//0.20
Indústria	300	1200	60	#8//0.20

A Ferca dispõe de técnicos e software específico para o cálculo de pavimentos Cupolex, estando disponível para fornecer todo o apoio necessário à prescrição, cálculo, desenho e execução de um pavimento ou enchimento Cupolex. Para mais informações sobre ensaios realizados em pavimentos Cupolex e respetivas capacidades resistentes.

Contacte-nos.

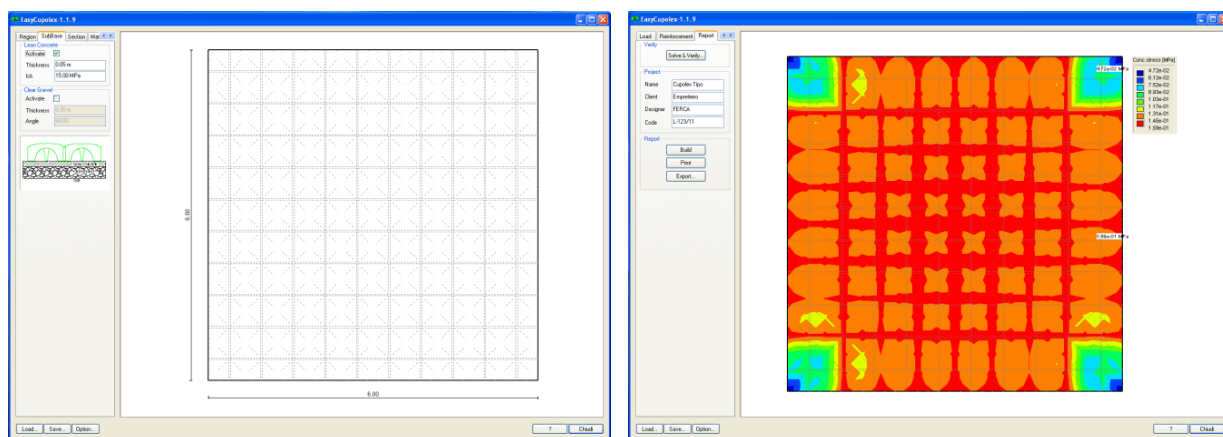


Figura 1 – Exemplo de cálculo com software EasyCupolex.



DETALHE DE UM PAVIMENTO CUPOLEX

Para uma correta montagem do pavimento **Cupolex** deverão ser produzidos desenhos da sua geometria que incluam a distribuição, caracterização e quantificação bem como cotas relativas à envolvente de forma a otimizar a sua utilização e facilitar o processo de montagem. Deverão igualmente expressar a opção e identificação do corte de peças ou incluir a utilização de unidades Beton Stop.

Os desenhos de implantação do sistema devem conter os seguintes elementos:

Cotas relativas à envolvente ou ao limite da distribuição;

Secção característica do pavimento identificando o módulo Cupolex e a espessura da lâmina;

Indicação do ponto de início da montagem e identificação de peças a cortar;

Notas gerais sobre a utilização, manuseamento e montagem de um pavimento Cupolex.

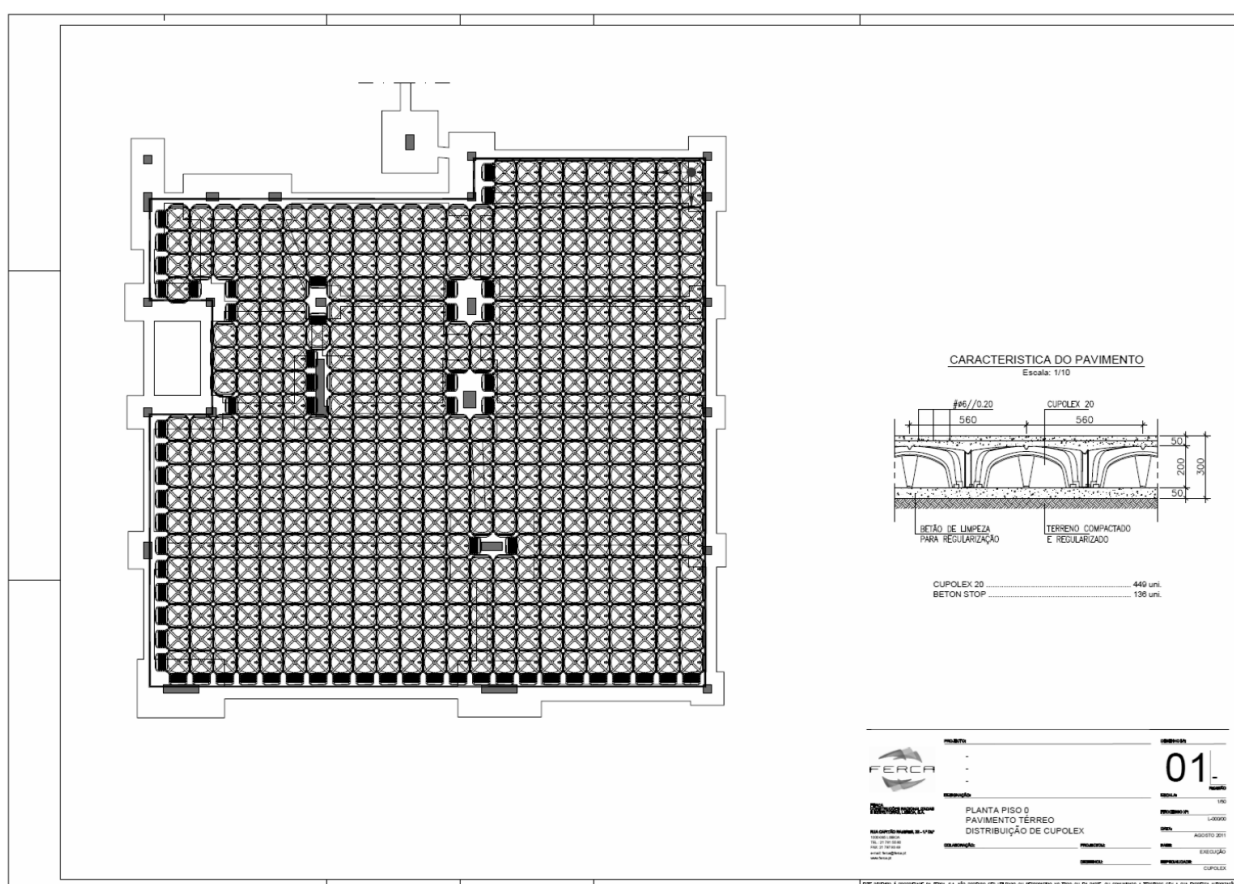


Figura 2 – Desenho de distribuição Cupolex.



Particularmente relevante é a forma como a distribuição do sistema se adapta à geometria em causa, sendo sempre possível o corte dos módulos Cupolex. A Pontarolo Engineering desenvolveu para o efeito o Beton Stop, um elemento produzido igualmente a partir de material 100% reciclado e concebido para encerrar os arcos deixados pelo Cupolex no perímetro da superfície a preencher, evitando o corte de módulos, o desperdício de material e permitindo o perfeito ajuste à geometria da estrutura.

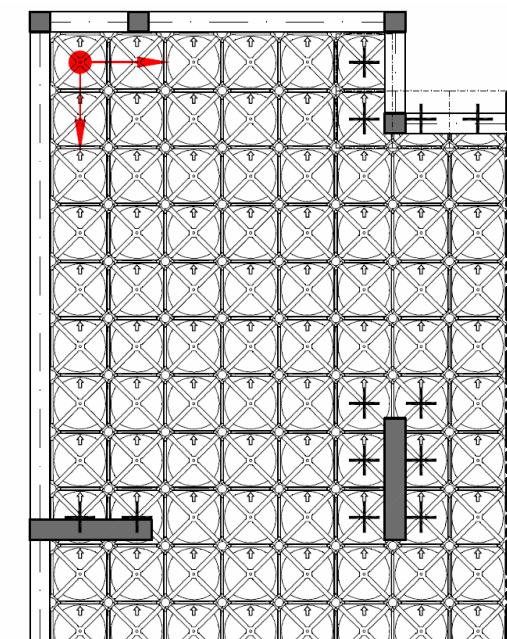


Figura 3 – Exemplo de distribuição Cupolex com identificação das peças a cortar para adaptação à geometria.

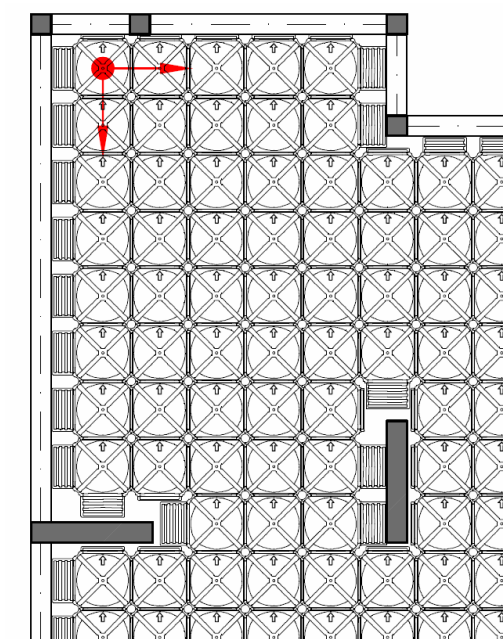


Figura 4 - Exemplo de distribuição Cupolex com recurso às unidades Beton Stop na adaptação à geometria.

A Ferca disponibiliza-se para proceder à distribuição do sistema e fornecer todo o apoio técnico que se entenda necessário na fase de conceção ou execução do pavimento.



EXEMPLO 1 – PAVIMENTO GENÉRICO CUPOLEX

O caso mais convencional de um pavimento Cupolex ocorre no preenchimento do espaço entre lintéis e vigas de fundação existentes ao nível ou na delimitação do pavimento térreo. Nestes casos a altura do módulo a utilizar será definida de forma a minimizar a escavação necessária e a permitir a ventilação do espaço sob o pavimento final.

A utilização do sistema Cupolex permite nestas situações, a betonagem conjunta do pavimento e lintéis eliminando um conjunto de operações que usualmente decorrem depois da betonagem dos elementos delimitativos do espaço interior da construção.

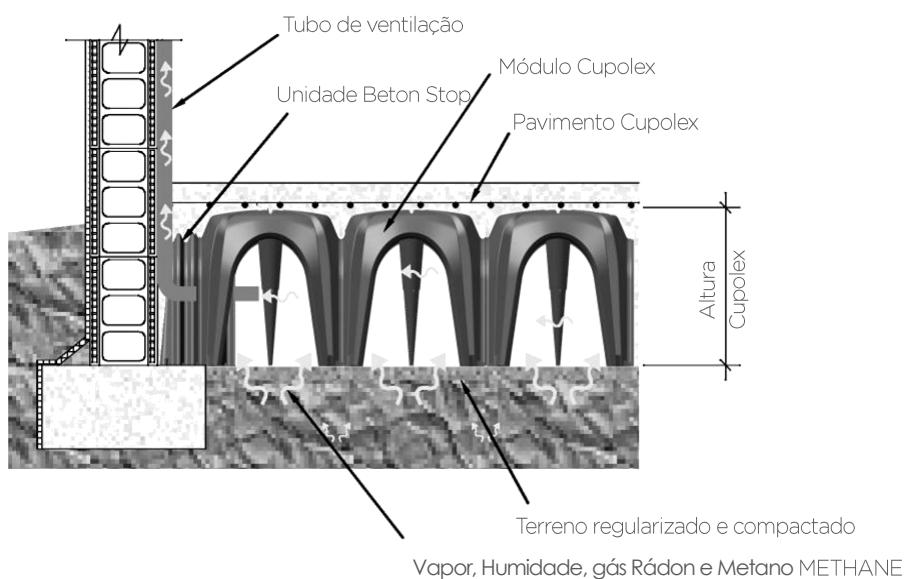
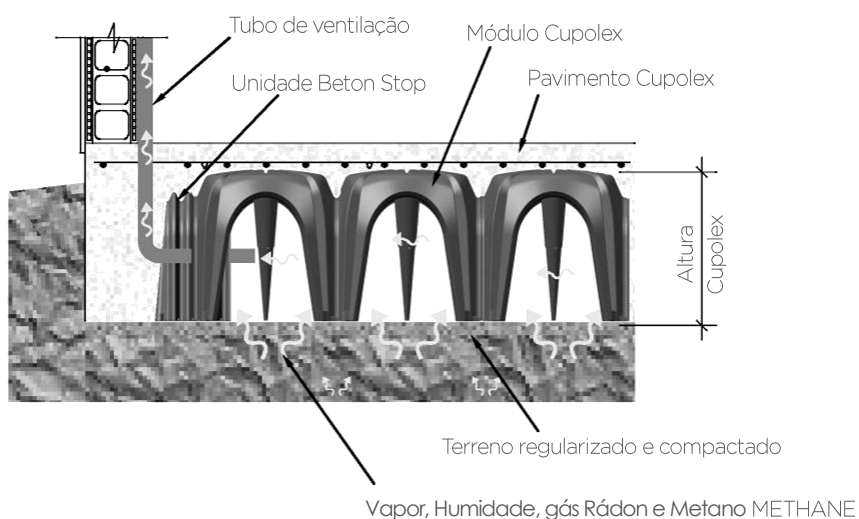


Figura 5 – Configurações genéricas de um pavimento Cupolex.

EXEMPLO 2 – PAVIMENTO INDUSTRIAL E COMERCIAL

O sistema **Cupolex** pode ser especificamente estudado para aplicações industriais permitindo sobrecargas de utilização até 1800kg/m², nestes casos há necessidade de um apurado estudo da solução no sentido de definir a base de apoio, a lâmina de compressão e as armaduras necessárias à eficiente distribuição dos esforços nos apoios do sistema e em particular à dispersão de cargas pontuais.

Especial câmara frigorífica

O sistema **Cupolex** encontra-se particularmente indicado para instalações de câmaras frigoríficas uma vez que permite garantir um eficiente isolamento do espaço de cariz industrial e em simultâneo evitar o congelamento dos solos adjacentes.



Figura 6 - Exemplos de instalações diversas de pavimentos Cupolex.



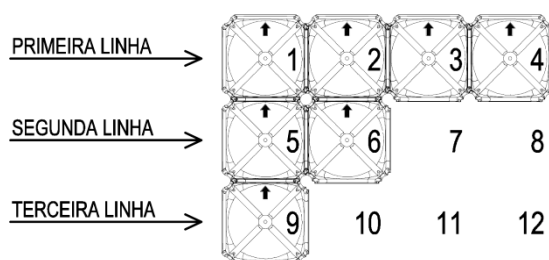
EXECUÇÃO DE UM PAVIMENTO CUPOLEX

O sistema **Cupolex** é caracterizado pela sua componente técnica e de produto por uma rapidez e facilidade de montagem que lhe confere quando devidamente projetado, uma importante celeridade ao processo construtivo.

O desenho de distribuição do sistema afigura-se pois como um importante passo na definição da solução e preparação dos trabalhos, consoante a opção do projetista o Cupolex poderá ser disposto entre lintéis, vigas de fundação, sapatas, maciços de estacas ou entre alvenarias já construídas, para tal deverão estar previamente definidas a/as alturas necessárias, os pontos de início de montagem e a distribuição que reduz ou evita o desperdício de módulos Cupolex.

Processo de montagem:

- O desenho de distribuição deverá indicar o ponto de início;
- Os módulos Cupolex estão identificados com uma seta que indica a posição de montagem;
- Os módulos Cupolex montam-se da esquerda para a direita e de cima para baixo;
- Devem ser colocadas as unidades Beton Stop (se preconizadas em projeto);
- A colocação das armaduras faz-se sobre calços a colocar na cúspide do módulo Cupolex;
- A betonagem faz-se de forma convencional podendo ser utilizados acabamentos mecânicos.



Sequência de montagem dos módulos Cupolex



Figura 7 - Fases de montagem do pavimento Cupolex.



ANEXO A - COMPOSIÇÃO

A Pontarolo Engineering produz o sistema **Cupolex** em polipropileno reciclado, ou melhor, num material termoplástico obtido através de um processo de moagem de objetos plásticos selecionados e controlados (por exemplo, cadeiras, para-choques, etc.). Geralmente, os principais elementos que compõem o polipropileno reciclado são:

- Polipropileno PP e polietileno PE, de ambas densidades LD baixa e HD de alta densidade, num co-polímero;
- O carbonato de cálcio/talco, que constitui a chamada matriz que confere ao material uma elevada rigidez externa;
- Fluidez, necessária para o processo de moldagem.

POLIPROPILENO

O polipropileno é um polímero termoplástico de vinil feito a partir de etileno e propileno, que são subprodutos obtidos a partir de gás benzeno refinado. Esses gases são polimerizados em polipropileno e polietileno a alta temperatura e pressão em sistemas de comportas num processo fechado, onde são criados sem emissões para a atmosfera. Os produtos acabados são grãos de plástico de polipropileno e polietileno composto de hidrogénio e moléculas de carbono. Quando incinerados, as únicas substâncias libertadas são dióxido de carbono e água. Como termoplásticos, eles podem ser facilmente reciclados, incinerados ou depositados em aterros sanitários. Todos os resíduos do consumo e produção podem ser facilmente reciclados. O produto final é resistente e durável, capaz de suportar temperaturas extremas e envelhecimento sem quebrar ou rasgar.

REQUISITOS AMBIENTAIS

O sistema **Cupolex** contempla desta forma quatro dos principais parâmetros da sustentabilidade ambiental:

- Minimização da utilização de recursos naturais;
- Redução de emissão de substâncias poluentes;
- Existência de ciclos de vida do produto longos;
- Reutilização e reciclagem de todos os seus componentes.



ANEXO B – INTRUSÃO DE GASES

INTRUSÃO DE VAPORES E CONTROLO DO GÁS RÁDON

Anos de pesquisa e aplicação têm mostrado que a intrusão de vapores, como o gás Rádón, pode ser efetivamente controlada usando ventiladores para puxar o ar do solo abaixo do pavimento (ver EPA 1994, ITRC 2007), uma tecnologia conhecida e muitas vezes usada na despressurização do subsolo.

VENTILAÇÃO MAIS EFICIENTE

Tradicionalmente, a despressurização obriga a puxar o ar do subsolo de um edifício por meio de uma ventilação localizada sob a laje. No caso dos pavimentos convencionais os ventiladores deverão ser suficientemente potentes para despressurizar o solo de forma a extrair o ar através das camadas de areia ou brita aí colocadas, obrigando a ter um número elevado de pontos de sucção para despressurizar todo o pavimento do edifício. Os pisos ventilados **Cupolex** podem simplesmente substituir a areia e brita por um grande pleno criado pelo sistema na parte inferior do pavimento, constituindo assim um meio mais eficiente, eficaz e previsível para a circulação do ar.

POTENCIAL DE VENTILAÇÃO PASSIVA

Sendo a despressurização do subsolo, em teoria, a forma mais eficaz de controlar a intrusão de vapor, a ventilação passiva é por outro lado a solução mais simples e económica quer na fase de montagem quer ao longo do ciclo de vida da estrutura. A capacidade dos sistemas tradicionais de despressurizar os subsolos para ventilar os pavimentos é questionável e muitas vezes é simplesmente difícil movimentar o ar através do solo sem a energia confiável de um ventilador (EPA, 1994).

A aplicação do sistema **Cupolex** cria, pois, nova oportunidade para ventilação passiva, com um pleno que permite que o ar se mova com grande facilidade sob gradientes térmicos naturais ou vento. Ove Arup (1997) mostra que a quantidade de ar que se move através de um sistema aberto como o vazio Cupolex é cerca de 10 vezes maior do que o volume de ar circulante através de uma camada de brita, aumentando desta forma a viabilidade e eficácia de um sistema passivo.

Foram realizados estudos detalhados pela Arup Ambiental e Universidade de Kingston, comparando várias alternativas de mitigação de intrusão de vapor.

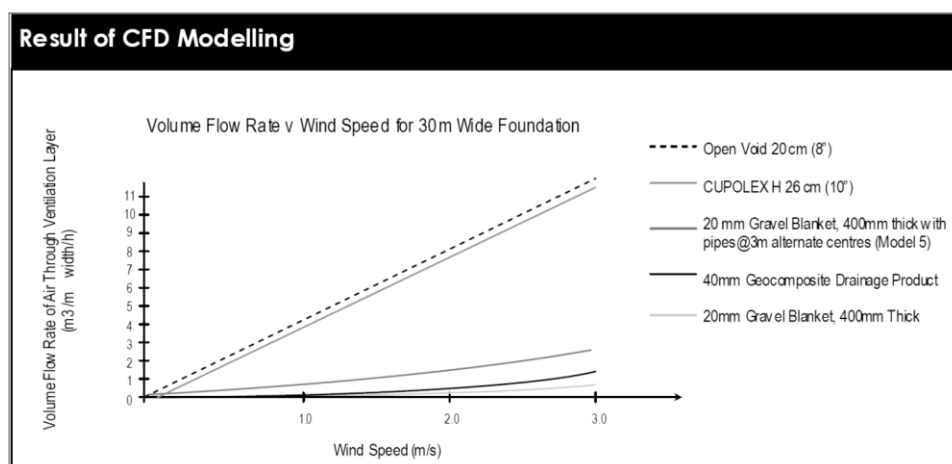


Figura 8 – Gráfico comparativo do desempenho de várias soluções de pavimento.



ANEXO C – HUMIDADE E QUALIDADE DO AR

Enquanto as membranas são normalmente necessárias em sistemas de isolamento para funcionar como barreiras (estagnando essencialmente o fluxo de vapores), os sistemas de mitigação, como o sistema de piso CUPOLEX®, que dependem de ventilação ou despressurização gasosa (desvia e dilui os vapores) não necessitam de membranas. Na verdade, os sistemas de despressurização foram desenvolvidos para instalação em edifícios existentes, onde as membranas não poderiam ser colocadas, além disso, sistemas de mitigação que resultam na diluição dos vapores por baixo do piso e cujo desempenho pode ser monitorizado e controlado (por exemplo, através de operação de ventiladores e medições de pressão) têm a vantagem de não permitir a concentração de vapores.

SOLUÇÃO PARA REDUÇÃO DE HUMIDADE E BOLOR E MELHORIA DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

As lâminas de betão dos pavimentos térreos convencionais estão em contacto com o solo, como resultado, a humidade conduzida através do betão contribui para o aparecimento de mofo e bolor nos pisos acabados causando danos arquitetónicos de custo elevado. Mantendo a parte superior e inferior da lâmina de betão do pavimento seco, reduz-se os problemas de humidade excessiva, que tem sido associada a efeitos adversos à saúde, especialmente asma e doenças respiratórias.

O sistema **Cupolex** fornece um vazio sob o pavimento resultando na ausência de contacto entre o betão e o solo que constitui a principal vantagem em relação a qualquer outro sistema de pavimento térreo. Em primeiro lugar porque o vazio formado é à prova de água, visto que todos os componentes do sistema são em polipropileno, proporcionando assim uma excelente barreira à humidade. Em segundo lugar, previne a ocorrência do processo de lixiviação da água por contacto com o betão evitando assim a deterioração deste e o estabelecimento de um processo acelerado de corrosão com impacto na durabilidade dos elementos estruturais. Finalmente, a ventilação da caixa-de-ar dos pavimentos pode efetivamente ajudar a controlar e reduzir os poluentes do ar, os níveis de humidade, e níveis de temperatura, fatores estes que têm sido associados à saúde humana, ao nível de conforto e de produtividade.

SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA VAPOR

Com o sistema **Cupolex**, projetistas, construtores e outros profissionais da construção podem oferecer soluções rentáveis de controlo preventivo e mitigação nos novos edifícios, reduzindo o consumo de betão e o ciclo de construção.

Mesmo quando os tipos de solo e níveis freáticos asseguram a ausência de água, os vapores de produtos químicos voláteis podem migrar ao longo das vias subterrâneas e infiltrar-se nos edifícios vizinhos em níveis que podem comprometer a qualidade do ar interior. Um longo período de exposição a produtos químicos, pode ter efeitos nocivos na saúde humana. Quando existe uma elevada concentração de contaminantes no ar interior, esta pode ser detetada pelo odor, permitindo o seu reconhecimento de forma a proceder rapidamente às necessárias correções, no entanto, nos casos em que as concentrações são baixas e não é facilmente detetável a necessidade de atuação poder de mais difícil perceção, originando longos períodos de exposição a estes agentes.



ANEXO D – PROVAS DE CARGA

DADOS DOS TESTES DE CARGA REALIZADOS EM ESTRUTURAS CONSTRUÍDAS SOBRE CUPOLEX

A empresa de engenharia Pontarolo Engineering s.r.l (San Vito al Tagliamento - Itália), realizou uma série de testes de carga em várias estruturas de betão construídas com elementos Cupolex.

O teste consiste em carregar a estrutura com um pistão hidráulico para causar a rotura. A carga é aplicada no centro do piso numa área de $0,56 \times 0,56 \text{ m}^2$. Entre o pistão e o betão está uma placa rígida, que graças a uma camada de borracha assegura uma distribuição uniforme da pressão sobre a área carregada. O pistão é suportado por uma ponte grua ancorada a uma piscina de betão armado de 1,5 m profundidade preparado para conter o solo.

A espessura do terreno e o tamanho da piscina (em comparação com o modelo) asseguram que, durante o teste de rotura o comportamento do solo é independente das ligações com muros de contenção e a laje de fundo de betão. Esta afirmação tem sido verificada com um modelo de elementos finitos em que o campo é representado como um meio homogéneo com comportamento elástico linear.

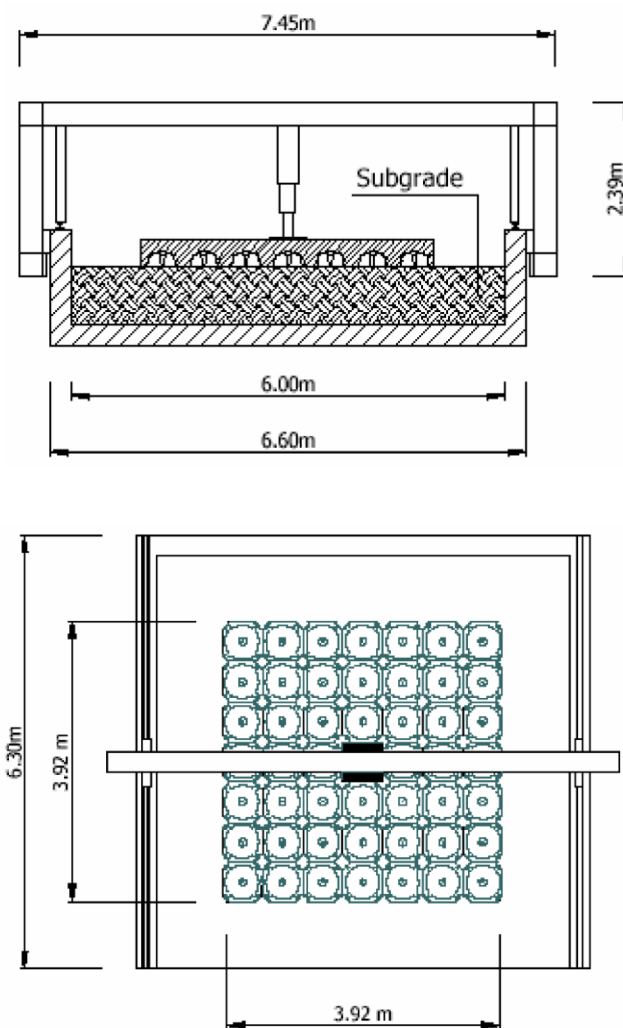


Figura 9 – Secção transversal e planta de instalação de ensaio.

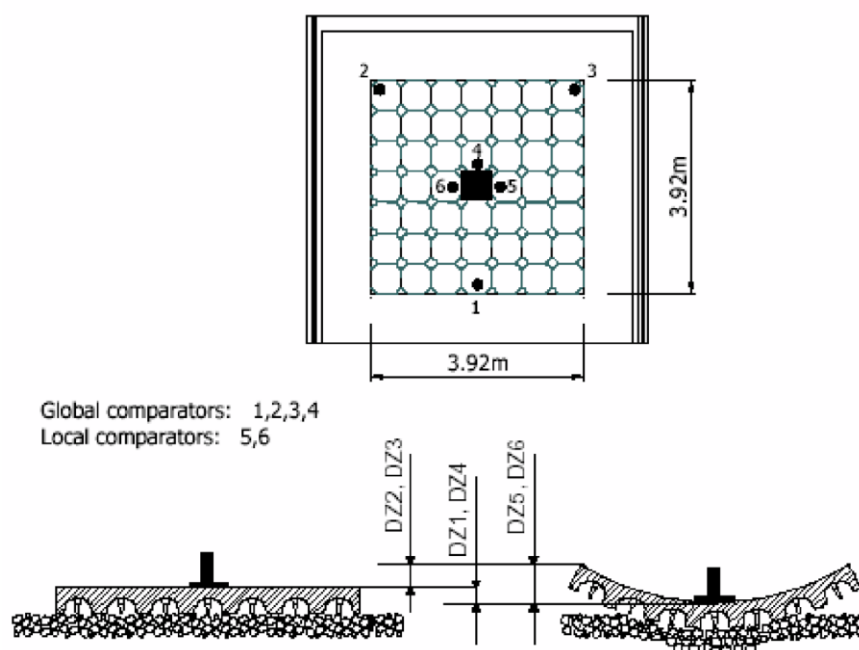


Figura 10 – Disposição dos distanciómetros.

A amostra é constituída por conjunto de 7x7 módulos de **Cupolex** colocados lado a lado, como apresentado na figura anterior. Em alguns ensaios o tamanho foi reduzido para conjuntos de 5x5 módulos para aferir a influência da dimensão da amostra no mesmo tipo de terreno, concluindo-se que a diferença de tamanho não é relevante dado que os módulos do perímetro, para pequenas espessuras da lâmina de compressão (50 mm) e para cargas concentradas na área central, se levantam em relação ao solo durante o ensaio.

Para condições de carga e dos terrenos considerados pode-se afirmar que os apoios no perímetro da amostra não têm qualquer influência na avaliação da capacidade resistente. Portanto, as amostras de 5x5 podem ser consideradas equivalentes às de 7x7.

A leitura dos dados é feita com 6 distanciómetros centesimais dispostos como indicado na Figura anterior. Os pontos 1, 2, 3 e 4 estão ligados à piscina de betão e medem o deslocamento vertical absoluto. Os pontos 5 e 6 medem, pelo contrário, o deslocamento relativo (indicados respetivamente DZ5 e DZ6), calculado pela diferença entre o deslocamento abaixo do ponto central, localizada imediatamente ao lado da área carregada, e o lado exterior da amostra.

O contacto entre a amostra e o terreno é efetuado através de apoios que se formam entre os elementos modulares. As suas dimensões em planta são de, aproximadamente, 12x12cm² nas zonas centrais. A área é reduzida a ½ e a ¼ no perímetro e nos ângulos, respetivamente.

A carga aplicada pode ser considerada de curta duração.

Através de testes experimentais reproduz-se o mecanismo típico de rotura por flexão-corte. Em casos reais, o uso da distribuição de cargas com maior interesse, são aqueles que maximizam os momentos de flexão (positiva e negativa) que produzem roturas para vencer a resistência à flexão da lâmina de compressão.

A carga última varia em função da geometria da laje, da quantidade de betão, do tipo de terreno e da quantidade de armadura presente na lâmina de compressão.



Os casos mais correntes nas aplicações tradicionais do sistema Cupolex estão representados pelas curvas A, B e C e são genericamente constituídos por:

- Terreno compactado
- 5cm de betão de limpeza
- Cupolex H26
- Lâmina de compressão de 5cm (amostra A), 8cm (amostra B) e 12cm (amostra C)
- Malha quadrada $\Phi 6/0,20$ em A500 na lâmina

As cargas que produziram a rotura por mecanismo de flexão-punçoamento da estrutura foram:

- 300 kN para a amostra A
- 370 kN para a amostra B
- 560 kN para a amostra C

Em todos os casos as forças foram aplicadas sobre uma base metálica de 56x56 cm.

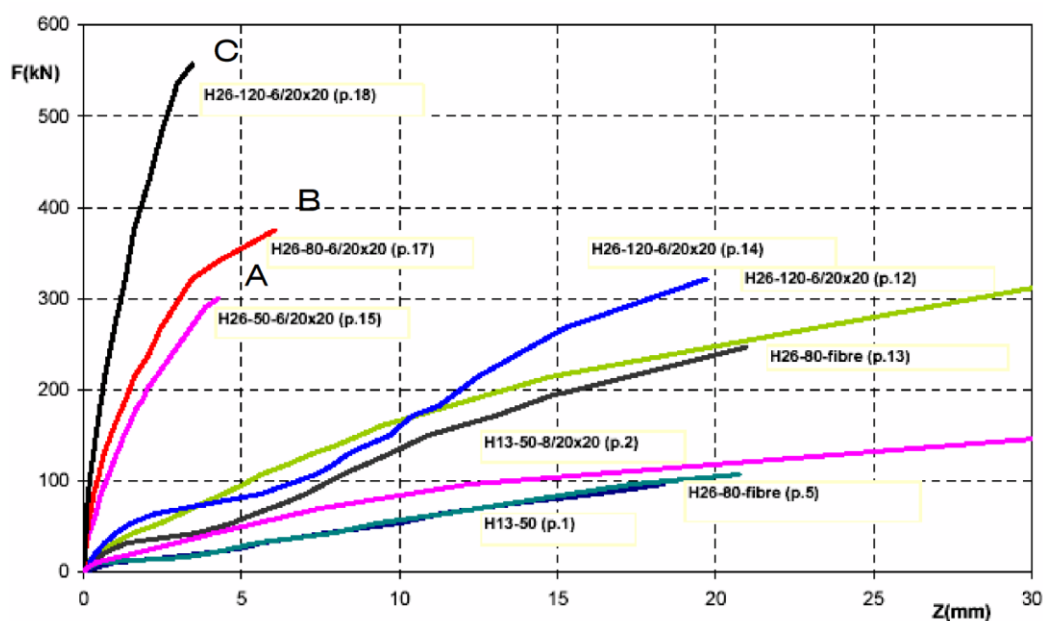


Figura 11 – Registo dos ensaios de carga

É importante assinalar que todos estes ensaios foram realizados sobre betão pobre e terreno, ou seja, numa base flexível, estimando-se que quando aplicado sobre uma base rígida (por exemplo uma laje de betão) as capacidades de carga sejam superiores.

Nota: Este anexo resume os resultados dos ensaios realizados para a empresa Pontarolo Engineering proprietária da patente do sistema, sendo a autoria do estudo da responsabilidade do Prof. Stefano Secchi, investigador da Universidade de Pádua em Itália.



