



DOCUMENTO DE APLICAÇÃO

COLABORANTE, S.A.
Sede e fábrica:
Parque Industrial de Adaúfe
Rua dos Canteiros, 17
4710-571 Braga
tel.: (+351) 25 330 09 20
fax: (+351) 25 330 09 28/9
e-e: comercial@colaborante.pt
www.colaborante.pt

COLABORANTE PC65 PAVIMENTOS DE LAJES MISTAS DE AÇO-BETÃO

PAVIMENTOS
FLOORS
PLANCHERS

JUNHO DE 2023

O presente Documento de Aplicação anula e substitui o DA 97, de outubro de 2018.
A situação de validade deste Documento de Aplicação deve ser verificada no portal do LNEC (www.lnec.pt).

O presente Documento de Aplicação (DA), de carácter voluntário, define as características e estabelece as condições de execução e de utilização do sistema de pavimentos COLABORANTE PC65, constituído por lajes mistas de aço-betão, do qual é detentora a empresa COLABORANTE, S.A.

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) emite um parecer técnico favorável relativamente aos pavimentos COLABORANTE PC65, descritos na secção 1 do presente Documento de Aplicação, nas seguintes condições:

- a empresa COLABORANTE, S.A. mantém a constância das condições de produção que permite a aposição da marcação CE a chapas perfiladas, nomeadamente através de um adequado controlo da produção em fábrica sintetizado na secção 3;
- o campo de aplicação dos pavimentos respeita as regras descritas na secção 2;
- as características de desempenho e as condições de execução dos pavimentos respeitam as regras descritas, respetivamente, nas secções 5 e 6.

A utilização dos pavimentos COLABORANTE PC65 fica também condicionada pelas disposições aplicáveis da regulamentação e da documentação normativa em vigor.

Este Documento de Aplicação é válido até 30 de junho de 2026, podendo ser renovado mediante solicitação atempada ao LNEC.

O LNEC reserva-se o direito de proceder à suspensão ou ao cancelamento deste Documento de Aplicação caso ocorram situações que o justifiquem, nomeadamente perante qualquer facto que ponha em dúvida a constância da qualidade dos pavimentos ou dos seus elementos constituintes.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em junho de 2023

O CONSELHO DIRETIVO

Laura Caldeira
Presidente

1 DESCRIÇÃO DOS PAVIMENTOS

1.1 Descrição geral

O sistema de pavimentos COLABORANTE PC65 é constituído por lajes mistas de aço-betão, adiante designadas por lajes COLABORANTE PC65, as quais integram chapas perfiladas de aço COLABORANTE PC65, enformadas a frio, que, em conjunto com uma camada de betão armado colocado em obra, garantem o funcionamento estrutural desses pavimentos (ver Figura1). Em fase de construção das lajes, as chapas perfiladas funcionam como cofragem.

O funcionamento estrutural é comparável ao de lajes aligeiradas unidireccionais, sendo necessário, para que tal semelhança se verifique, que estejam estabelecidos os mecanismos de ligação adequados entre a camada de betão e as chapas perfiladas.

As chapas perfiladas COLABORANTE PC65 são objeto de marcação CE, de acordo com a Norma Portuguesa NP EN 1090-1:2009+A1:2013 – *Execução de estruturas de aço e de estruturas de alumínio – Parte 1: Requisitos para a avaliação de conformidade de componentes estruturais*.

Os pavimentos compreendem ainda revestimentos de piso e revestimentos de teto, incluindo tetos suspensos. As respetivas características de desempenho, a que se refere a secção 5 deste Documento de Aplicação, são avaliadas com base nos critérios estabelecidos em documentação de índole normativa aplicável.

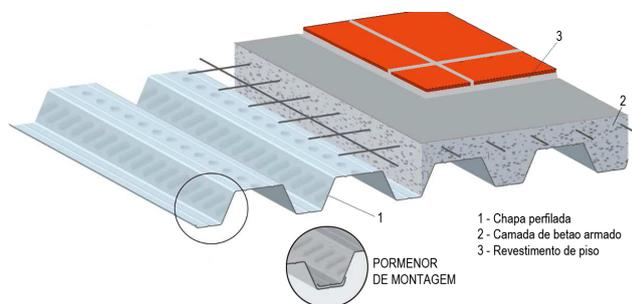


Figura 1 – Perspetiva de um pavimento de laje mista de aço-betão COLABORANTE PC65

1.2 Características dos elementos constituintes

1.2.1 Chapas perfiladas

1.2.1.1 Geometria, dimensões e massa das chapas perfiladas

As chapas perfiladas COLABORANTE PC65 têm a geometria apresentada na Figura A.1 do Anexo e as dimensões nominais da secção transversal, das bossas e dos rigidificadores apresentadas nas Figuras A.2 e A.3 do Anexo. As chapas perfiladas são cortadas com o comprimento pretendido, sendo o comprimento máximo, em condições usuais, de 13,00 m. Pode prever-se, no entanto, a produção de comprimentos superiores, desde que seja possível o transporte, em condições especiais, das chapas perfiladas.

No Quadro A.1 do Anexo apresentam-se os valores nominais da massa e do peso próprio das chapas perfiladas.

1.2.1.2 Características mecânicas do aço e características da proteção das chapas

As chapas perfiladas COLABORANTE PC65 são produzidas a partir de bobinas de chapas de aço galvanizadas com 1,25 m de largura, em que o aço das chapas é da classe S320 GD+Z, com as características mecânicas do aço e as características de proteção das chapas (NP EN 10346:2016) indicadas no Quadro 1.

QUADRO 1

Características das chapas de aço

e_t (mm)	e_p (mm)	$R_{p0,2}$ (MPa)	R_m (MPa)	A_{80} (%)	E (GPa)	M_z (g/m ²)
0,75	0,71	320	390	17,0	210	200
0,80	0,76					
1,00	0,96					
1,20	1,16					

Notas:

e_t espessura total, incluindo a camada de proteção de zinco (valor nominal)

e_p espessura da chapa de aço (valor nominal)

$R_{p0,2}$ tensão limite convencional de proporcionalidade (valor mínimo)

R_m tensão de rotura à tração (valor mínimo)

A_{80} extensão após rotura (valor mínimo)

E módulo de elasticidade (valor médio)

M_z massa do revestimento de zinco, em ambas as faces, equivalente a uma espessura de revestimento na gama de 10 μ m a 20 μ m, em cada face (ensaio num ponto)

1.2.2 Camada de betão

A camada de betão é aplicada de forma contínua, apresentando as lajes, com esta camada de betão, espessuras totais (h) de 12 a 20 cm.

O betão desta camada, de comportamento especificado, com peso volúmico de 24 kN/m³, sem armadura, e de 25 kN/m³, com armadura, deve satisfazer as classes de resistência à compressão C20/25, C25/30 e C30/37, a classe de exposição XC1(Pt) e a classe de teor de cloretos Cl0,40, de acordo com a Norma Portuguesa NP EN 206:2013+A2:2021.

A consistência do betão fresco e a máxima dimensão dos agregados devem permitir o preenchimento fácil e completo dos espaços entre as chapas e as armaduras e entre as armaduras, devendo cumprir-se, relativamente à dimensão dos agregados, o prescrito na secção 9.2.2 da norma NP EN 1994-1-1:2011.

No Quadro A.3 do Anexo são fornecidos os valores do volume e do peso próprio do betão, por m², para cada uma das espessuras de laje atrás referidas.

1.2.3 Armaduras

São ainda elementos constituintes destas lajes as armaduras integradas na camada de betão referida em 1.2.2. As armaduras são de quatro tipos: i) armadura de distribuição (em rede eletrossoldada ou em varão de aço); ii) armadura para momentos negativos sobre apoios de continuidade (em varão de aço);

iii) armadura para reforço de momentos positivos nas zonas de vão das lajes (em varão de aço); e iv) armadura para cargas concentradas pontuais ou lineares (em rede eletrossoldada ou em varão de aço).

As redes eletrossoldadas de aço devem ser dos tipos A500 NR ou A500 ER e satisfazer os requisitos da Especificação LNEC E 458.

Os varões de aço devem ser dos tipos A500 NR ou A500 ER e satisfazer os requisitos das Especificações LNEC E 450 e E456, respetivamente.

As redes eletrossoldadas e os varões de aço para utilização em armaduras para betão armado, de acordo com o Anexo Nacional da Norma Portuguesa NP EN 1992-1-1:2010 têm de dispor de Documento de Classificação emitido pelo Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, I.P. e, de acordo com o Decreto-Lei n.º 390/2007, de 10 de setembro, têm de dispor de certificação da conformidade com as referidas especificações, emitida por organismo acreditado pela entidade competente no domínio da acreditação em conformidade com o definido no Sistema Português da Qualidade.

2 CAMPO DE APLICAÇÃO

O campo de aplicação do sistema de pavimentos COLABORANTE PC65 abrange o seu emprego em edifícios de habitação, edifícios de escritórios, edifícios comerciais ou edifícios industriais.

Não se consideram abrangidas as situações em que seja previsível a atuação predominante de ações resultantes de cargas concentradas para além das cargas de valor moderado previstas no presente documento ou de cargas dinâmicas, de choque e vibração, ou ainda de cargas repetitivas que possam dar origem a fenómenos de fadiga, por mais elevada que seja a capacidade resistente dos pavimentos. Por este motivo, a utilização dos pavimentos nestes casos está fora do âmbito do presente Documento de Aplicação e carece de prévio estudo específico, eventualmente por verificação experimental.

A consideração das ações sísmicas no projeto destes pavimentos, nomeadamente no seu funcionamento como diafragma, é possível desde que seja definido um método de cálculo adequado às condições sísmicas, tal como referido em 9.1.1(4) da NP EN 1994-1-1.

Nas lajes mistas COLABORANTE PC65, a que se refere o presente Documento de Aplicação, considera-se que o funcionamento conjunto das chapas perfiladas e do betão é assegurado apenas pela interligação mecânica realizada através das deformações do perfil, designadas por bossas, tal como é referido na alínea a) da secção 9.1.2.1(1) da norma NP EN 1994-1-1, não se incluindo no campo de aplicação destas lajes nomeadamente a amarração de extremidade através de pernos soldados ou de outro tipo de conexão local entre o betão e a chapa de aço, como referido na alínea c) da mesma secção daquela norma.

No campo de aplicação destas lajes não está incluída a sua utilização em ambientes potencialmente agressivos, nomeadamente face às características do revestimento de zinco aplicado nas chapas perfiladas referidas em 1.2.1.

Também não se consideram abrangidas as situações que correspondem à execução de lajes com espessuras (h) inferiores ou superiores às espessuras referidas em 1.2.2.

3 FABRICO E CONTROLO DA QUALIDADE

3.1 Instalações e processo de fabrico

As chapas perfiladas são fabricadas nas instalações da empresa COLABORANTE, localizadas no Parque Industrial de Adaúfe, em Braga.

A empresa produz as chapas perfiladas, com as diferentes espessuras referidas no Quadro 1, a partir de chapas de aço galvanizadas, com as mesmas espessuras e uma largura de 1,25 m, que adquire a diversos fornecedores, sob a forma de bobinas.

As chapas perfiladas são enformadas a frio em máquina perfiladora que, de forma gradual e após os devidos ajustes, tendo em conta a espessura da chapa, permite a obtenção das nervuras e das bossas com as dimensões pretendidas. Segue-se o corte das chapas perfiladas com os comprimentos requeridos e o seu empilhamento e armazenagem em lotes de 1000 kg, aproximadamente. A armazenagem das chapas perfiladas decorre nas instalações cobertas da fábrica, em local devidamente identificado, sendo empilhadas de forma a garantir a boa estabilidade dos diversos volumes.

3.2 Controlo da qualidade

A empresa dispõe de um sistema de controlo de produção em fábrica que incide sobre a matéria-prima (chapas de aço galvanizadas), o processo de fabrico e o produto acabado.

a) Controlo sobre as chapas constituintes do produto

Em relação às chapas de aço galvanizadas, adquiridas a fornecedores, o controlo da qualidade de fabrico é feito nas unidades de produção desses fornecedores. Todas as bobinas fornecidas são objeto de um certificado de inspeção tipo 3.1 (de acordo com a norma EN 10204:2004) que, para cada uma dessas bobinas, justifica, de acordo com as normas EN 10143:2006 e NP EN 10346:2016, a conformidade: i) da espessura da chapa; ii) da classe do aço (S320GD), através dos resultados obtidos em ensaio de tração ($R_{p0,2}$, R_m e A80); e iii) da massa do revestimento de zinco (Z200).

A empresa COLABORANTE, S.A. regista e arquiva os certificados de inspeção que acompanham cada entrega. Na receção das bobinas de chapa, são verificadas as espessuras das chapas de cada bobina e, se necessário, são verificados os pesos médios por unidade de comprimento das bobinas correspondentes.

b) Controlo sobre o processo de fabrico

Em processo de fabrico, o controlo da qualidade incide sobre as características dimensionais da secção transversal e no comprimento da chapa perfilada. O controlo diz respeito a verificação adicional da espessura da chapa, ainda sobre a chapa da bobina, e às verificações que, durante a operação da máquina perfiladora, possibilitam a inserção nesta máquina dos ajustes necessários à obtenção da conformidade geométrica das chapas perfiladas produzidas.

Também deve ser garantido, neste controlo, o conteúdo correto da marcação das chapas e a sua legibilidade.

Este controlo é efetuado a cada troca de lote. Um lote corresponde ao mesmo produto, ao mesmo número da bobina e à mesma configuração da máquina.

Os resultados deste controlo são registados.

c) Sobre o produto acabado

O controlo sobre o produto acabado antes da sua entrega é efetuado tendo em conta as dimensões nominais apresentadas no anexo do presente Documento de Aplicação, o comprimento das chapas perfiladas sob encomenda e as tolerâncias apresentadas no Quadro 2, as quais foram estabelecidas com base nas normas EN 10143:2006, NP EN 508-1:2014, NP EN 1090-4:2022 e NP EN 1994-1-1:2011. As medições são efetuadas de acordo com os procedimentos estabelecidos nas normas aplicáveis.

O controlo sobre os produtos acabados é executado na unidade de produção, por amostragem, sobre um número de produtos por dia em correspondência com o número de substituições de bobinas na máquina perfiladora.

QUADRO 2

Tolerâncias dimensionais

Designação da dimensão	Dimensão nominal (mm)	Desvio admissível (mm)
Espessura (t)		
Perfil PC65 0,75	0,75	± 0,05
Perfil PC65 0,80	0,80	± 0,05
Perfil PC65 1,00	1,00	± 0,06
Perfil PC65 1,20	1,20	± 0,07
Altura do perfil (h)	62	± 1,5
Largura dos banzos		
Superior (w_{bs})	103	+ 4 / -1
Inferior (w_{bi})	52	
Largura de cobertura (w_c)	880	± 6
Comprimento do painel (L)	L ≤ 3000 L > 3000	+ 10 / - 5 + 20 / - 5
Profundidade das bossas nos banzos superiores e nas almas (d_s)		
Perfil PC65 0,75	1,5	
Perfil PC65 0,80	1,5	+ 0,4 / - 0,2
Perfil PC65 1,00	2,2	
Perfil PC65 1,20	2,3	
Profundidade dos rigidificadores (d_r)		
Banzo superior	1,4	+ 0,6 / - 0,2
Banzo inferior	0,8	+ 0,3 / - 0,1

A empresa dispõe de um *Manual de Controlo de Produção* e de um *Plano de Medição e Monitorização* aplicado à produção das chapas perfiladas, contendo a lista de verificações a realizar, bem como a respetiva periodicidade.

As chapas perfiladas COLABORANTE PC65 são objeto de marcação CE, como se referiu em 1.1, de acordo com a norma NP EN 1090-1:2009+A1:2013, e a empresa tem implementado um Sistema de Gestão da Qualidade e um Sistema de Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho certificados, de acordo com as normas NP EN ISO 9001:2015 e OHSAS 18001:2007/NP 4397:2008, respetivamente.

4 IDENTIFICAÇÃO

As chapas perfiladas COLABORANTE PC65 têm aposta a marcação CE, onde consta para além da designação e espessura da chapa, a classe de resistência do aço constituinte (ver Figura 2). No caso de esta marcação excepcionalmente não ter sido aposta nas chapas perfiladas, por motivo justificado, ela deverá ser impressa no rótulo que acompanha as chapas, na embalagem ou na documentação comercial (guia de remessa), de acordo com o disposto nas normas NP EN 1090-1:2009+A1:2013 e NP EN 1090-4:2022, de modo a que as chapas fornecidas possam ser sempre claramente identificadas quanto à sua origem, espessura e classe de resistência do aço constituinte.



Figura 2 – Marcação CE de chapa perfilada COLABORANTE PC65 0,80

A empresa produtora disponibiliza a pedido a respetiva Declaração de Desempenho relativa à marcação CE das chapas perfiladas.

5 CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS

5.1 Características mecânicas e segurança estrutural

5.1.1 Nota prévia

A segurança estrutural das lajes mistas de aço-betão é verificada conforme os critérios estabelecidos na Parte 1-1 do Eurocódigo 4 (NP EN 1994-1-1:2011), mais precisamente no seu capítulo 9. Tratando-se de dois materiais distintos, o betão armado e o aço, também contribuem para esta verificação os critérios estabelecidos na Parte 1-1 do Eurocódigo 2 EN 1992-1-1:2010) e na Parte 1-3 do Eurocódigo 3 (EN 1993-1-3:2006), relativa a chapas enformadas a frio.

A verificação da segurança deve ser efetuada tendo presente não só a fase de serviço das lajes, mas também a fase de construção em que as chapas perfiladas funcionam como cofragem. Em cada uma destas fases deve ser verificada a segurança relativamente aos estados limites últimos e aos estados limites de utilização.

Na fase de construção ou fase de cofragem, a verificação da segurança é determinante, em geral, para a avaliação da necessidade de se utilizar escoramento ou de se reduzir o vão livre das chapas utilizando vigas secundárias.

Na fase de serviço ou fase mista, as chapas perfiladas funcionam como armadura de tração inferior do betão das lajes mistas, sendo necessário, para isso, que se estabeleça uma adequada resistência ao corte longitudinal nas superfícies de contacto entre as chapas e o betão.

5.1.2 Fase de construção

5.1.2.1 Critérios gerais

Nesta fase, as chapas perfiladas, funcionando como plataforma de trabalho e como cofragem do betão a colocar, não devem ultrapassar, face às ações que sobre elas podem ocorrer, determinados estados de tensão e de deformação. Os critérios gerais a satisfazer nas verificações a realizar são estabelecidos na NP EN 1994-1-1:2011, nas secções 9.3.2 e 9.4.1, no que se refere às ações e à análise global dos esforços, e nas secções 9.5 e 9.6, no que se refere à determinação dos efeitos correspondentes aos estados limites últimos e de utilização, respetivamente.

5.1.2.2 Ações e análise global

Durante esta fase devem ter-se em conta as seguintes cargas: i) peso próprio da chapa; ii) peso do betão fresco (26 kN/m^3 , de acordo com a NP EN 206) e da armadura; iii) cargas de construção, incluindo a acumulação local do betão durante a construção; iv) eventuais cargas de armazenagem; e v) efeito de "poça" (aumento da espessura de betão devido à deformação das chapas), sendo estas cargas definidas de acordo com as normas NP EN 1991-1-1:2009 e EN 1991-1-6:2005.

Na análise global dos esforços, não é admissível a redistribuição plástica dos momentos, no caso de escoramento provisório.

5.1.2.3 Estados limites últimos e de utilização

No que se refere à verificação aos estados limites últimos deve garantir-se que os esforços devidos à ação combinada mais desfavorável do peso da chapa, do betão fresco e das cargas de construção não ultrapassam a capacidade resistente das chapas, determinada, de acordo com o definido na secção 6.1 da norma EN 1993-1-3:2006, para os seguintes esforços: i) momentos fletores positivos e negativos; ii) esforço transversal; iii) forças transversais locais; iv) combinação de esforço transversal e momento fletor; e v) combinação de força transversal local e momento fletor.

No que se refere ao estado limite de utilização, deve garantir-se que as flechas devidas à ação combinada do peso próprio e do betão fresco não ultrapassam a flecha máxima admissível, $L/180$ (sendo L o vão da chapa), que é uma flecha irreversível, já que se mantém após o endurecimento do betão.

As análises relativas à determinação dos esforços resistentes e da flecha máxima admissível devem ter em conta os efeitos das bossas, assim como os fenómenos de encurvadura que podem ocorrer nas partes das chapas sujeitas à compressão, pelo que nessas análises devem ser adotadas as características geométricas das secções efetivas dessas chapas, determinadas de acordo com as normas NP EN 1994-1-1:2011 e EN 1993-1-3:2006 (ver Quadro A.2).

Para as chapas perfiladas analisadas no presente Documento de Aplicação, apresentam-se no Quadro A.4 os vãos máximos que não devem ser ultrapassados sem que se preveja um escoramento intermédio, face às ações que nelas podem ocorrer durante a fase de construção e às respetivas resistência e rigidez, considerando os casos de um tramo simplesmente apoiado e de dois tramos iguais com apoio intermédio de continuidade.

5.1.3 Fase de serviço

5.1.3.1 Critérios gerais

Nesta fase, os critérios gerais a satisfazer nas verificações da segurança a realizar são estabelecidos na norma NP EN 1994-1-1:2011, nas secções 9.3.3 e 9.4.2, no que se refere às ações e à análise global dos esforços, e nas secções 9.7 e 9.8, no que se refere à determinação dos efeitos correspondentes aos estados limites últimos e de utilização, respetivamente.

5.1.3.2 Ações e análise global

Nesta fase, as ações a considerar são, em geral: i) peso próprio da laje (chapa de aço, betão e armaduras); ii) outras cargas permanentes (revestimentos dos pavimentos e paredes divisórias, p. ex.); iii) reações devidas à retirada do escoramento, caso exista; e iv) sobrecargas de serviço e outras ações variáveis.

Para a verificação da segurança em relação aos estados limites últimos, poderão utilizar-se os seguintes métodos de análise global: i) análise elástica linear com ou sem redistribuição; ii) análise rígido-plástica, desde que se demonstre que as secções onde são necessárias rotações plásticas têm capacidade de rotação suficiente; e iii) análise elasto-plástica, tendo em conta o comportamento não linear dos materiais.

Para a verificação da segurança em relação aos estados limites de utilização, deve utilizar-se o método de análise global elástica linear, considerando os efeitos da fendilhação como referido em 5.1.3.4 - i).

Como alternativa aos métodos atrás referidos, admite-se que a análise de uma laje contínua possa ser efetuada como uma sucessão de tramos simplesmente apoiados. Neste caso deve prever-se sobre os apoios uma armadura nominal de fendilhação como referido em 5.1.3.4 - i).

5.1.3.3 Estados limites últimos

A capacidade resistente das lajes correspondente aos estados limites últimos deve ser determinada para os seguintes esforços: i) flexão (positiva e negativa); ii) corte longitudinal; iii) corte vertical; e iv) punçoamento.

i) Flexão

O valor de cálculo da resistência à flexão da laje mista é determinado, de acordo com a secção 9.7.2 da norma NP EN 1994-1-1:2011, com base no comportamento rígido-plástico do betão e do aço na secção, admitindo uma conexão total ao corte entre a chapa e o betão.

A contribuição da chapa submetida a tensões de compressão nas zonas de momentos negativos (apoios intermédios) é desprezada.

Apresentam-se nos Quadros A.5, Quadro A.6 e Quadro A.7 os valores de cálculo determinados para o momento fletor

resistente positivo das lajes a que se refere o presente Documento de Aplicação, executadas com betão das classes C20/25, C25/30 e C30/37, respetivamente.

ii) Corte longitudinal

O valor de cálculo da resistência ao corte longitudinal é determinado, de acordo com a secção 9.7.3 da norma NP EN 1994-1-1:2011, com base no método $m-k$, tendo os valores adotados, $m = 79,37 \text{ N/mm}^2$ e $k = 0,034528 \text{ N/mm}^2$, sido obtidos em ensaios realizados sobre lajes mistas com chapas perfiladas de 0,75 mm de espessura nominal.

Apresentam-se no Quadro A.8 os valores de cálculo determinados para o esforço de corte longitudinal resistente sem amarração de extremidade das lajes a que se refere o presente Documento de Aplicação.

iii) Corte vertical

O valor de cálculo da resistência ao corte vertical é determinado, tal como estabelecido na secção 9.7.5 da norma NP EN 1994-1-1:2011, com base no método descrito na secção 6.2.2 da norma NP EN 1992-1-1:2010. Para que a armadura longitudinal possa ser considerada na verificação do esforço transversal deve ter comprimento de amarração suficiente a partir da secção em análise.

Em princípio a chapa perfilada não satisfaz a esta condição de amarração nos apoios de extremidade. Nos apoios intermédios não é a chapa perfilada, mas a armadura superior que deve ser considerada, desde que esta armadura tenha comprimento de amarração suficiente a partir da secção em análise.

Apresentam-se no Quadro A.9 os valores de cálculo determinados para o esforço de corte vertical resistente mínimo das lajes a que se refere o presente Documento de Aplicação, na situação de apoio de extremidade, sem contributo da chapa perfilada.

iv) Punçoamento

O valor de cálculo da resistência ao punçoamento de uma laje mista sujeita a uma carga concentrada é determinado de acordo com os critérios apresentados na secção 6.4.4 da norma NP EN 1992-1-1:2010.

5.1.3.4 Estados limites de utilização

Os estados limites de utilização a controlar correspondem às seguintes situações: i) controlo da fendilhação do betão; e ii) controlo da flecha.

i) Controlo da fendilhação do betão

A fendilhação do betão deve ser controlada nas zonas em que o betão está submetido a tensões de tração na face superior das lajes devidas à retração do betão, no caso de lajes simplesmente apoiadas, ou a trações devidas à retração e a momentos negativos nos apoios intermédios, no caso de lajes contínuas, e nos apoios extremos em que existem restrições de rotação das secções.

Para limitar a fendilhação do betão em zona corrente da face superior da laje mista, na secção 9.2.1 da norma NP EN 1994-1-1:2011 prevê-se a colocação de armaduras transversais e longitudinais junto a essa face superior com o recobrimento necessário e uma área, em cada uma das duas direções, não inferior a 0,1% da área da secção do betão situada acima das nervuras, nem a $80 \text{ mm}^2/\text{m}$, não devendo o espaçamento dos varões da armadura exceder o menor dos seguintes valores $2h$ e 350 mm (ver Quadro A.14).

No que se refere à fendilhação do betão devida aos momentos flectores negativos, a secção 9.8.1 da norma NP EN 1994-1-1:2011 remete para a secção 7.3 da norma NP EN 1992-1-1:2010 a verificação da largura de fendas, a qual pode ser efetuada ou através de cálculo do momento fletor correspondente à largura de fendas com um valor limite predefinido ou através da preconização de uma armadura mínima sem o cálculo direto.

Neste último caso, que se aplica às situações em que se admite a análise das lajes contínuas como lajes simplesmente apoiadas, preconiza-se na secção 9.8.1 da norma NP EN 1994-1-1:2011 uma quantidade mínima de armadura (ver Quadro A.14), localizada acima das nervuras, com uma área não inferior a:

- 0,2% da área da secção de betão situada acima das nervuras, para uma construção não escorada;
- 0,4% da área da secção de betão situada acima das nervuras, para uma construção escorada.

Esta armadura deve ser prolongada de um comprimento igual a $1/3 L$ de cada lado do apoio intermédio, em que L é o comprimento do tramo considerado.

ii) Controlo da flecha

De acordo com a secção 9.8.2(4) da norma NP EN 1994-1-1:2011, o cálculo das flechas pode ser dispensado desde que sejam satisfeitas as duas condições aí referidas. Uma das condições refere-se à relação entre o vão (L) e a altura útil da laje (d_p) que não deve exceder os limites indicados na secção 7.4.2 da norma NP EN 1992-1-1:2010, para betão levemente solicitado.

De acordo com a secção 9.8.2(5) da norma NP EN 1994-1-1:2011, para um tramo intermédio de uma laje contínua, a flecha pode ser determinada com as seguintes aproximações:

- o momento de inércia poderá ser considerado igual à média dos valores relativos à secção fendilhada e à secção não fendilhada;
- para o betão poderá utilizar-se o valor médio dos valores do coeficiente de homogeneização respetivamente para as ações de curta duração ($n = E_a / E_c$) e para as ações de longa duração ($n = 3 E_a / E_c$), ou seja, $n = 2 E_a / E_c$.

A flecha máxima da laje é determinada para a combinação de ações quase-permanente mais desfavorável.

Apresentam-se nos Quadros A.10 a A.13 os valores determinados para os momentos de inércia relativos às secções não fendilhada e fendilhada das lajes a que se refere o presente Documento de Aplicação.

5.2 Comportamento em caso de incêndio

Os materiais constituintes das lajes mistas, o aço e o betão, são da classe de reação ao fogo A1 (não-combustíveis).

No que se refere à resistência ao fogo, os pavimentos de edifícios, por desempenharem funções estruturais e de compartimentação, tal como outros elementos de construção em circunstâncias idênticas, são caracterizados pelos seguintes aspetos do seu comportamento:

- Resistência mecânica (R): capacidade do elemento com funções estruturais para suportar cargas durante a ação do fogo;

- Estanquidade (E): capacidade do elemento com funções de compartimentação para prevenir a passagem de chamas ou de gases quentes ou inflamáveis;
- Isolamento térmico (I): capacidade do elemento com funções de compartimentação para evitar a transmissão excessiva de calor.

A resistência ao fogo das lajes mistas COLABORANTE PC65, cuja face inferior esteja submetida ao fogo padrão, pode ser avaliada de acordo com regras estabelecidas na secção 4.3 e no Anexo D da norma NP EN 1994-1-2:2011, por estas lajes satisfazerem as condições, para lajes não protegidas, definidas no Quadro D.7 desta norma.

De acordo com a secção 4.3.2(5) da norma NP EN 1994-1-2:2011, a resistência ao fogo, no que se refere ao critério de resistência mecânica (R), de lajes mistas com chapas perfiladas de aço, com ou sem armadura adicional, projetadas segundo a norma NP EN 1994-1-1:2011 e sem proteção ao fogo, é, pelo menos, de 30 minutos (classe R30).

Para se obter uma resistência ao fogo superior a 30 minutos, é necessário controlar os momentos fletores no vão e sobre os apoios, através da colocação de armaduras adicionais, para reforço das lajes aos momentos positivos, as quais são dispostas longitudinalmente no interior das nervuras, com a proteção que lhes é conferida pela espessura de betão, e para reforço das armaduras para momentos negativos. Nas secções D.2 e D.3 do Anexo D da norma NP EN 1994-1-2:2011 é fornecido um método para o cálculo da resistência ao fogo, em relação ao critério da resistência mecânica (R) e em relação aos momentos resistentes positivos e negativos.

De acordo com a secção 4.3.2(6) da norma NP EN 1994-1-2:2011, a resistência ao fogo, no que se refere ao critério de estanquidade (E), é satisfeita pelas lajes mistas por estas serem suficientemente estanques às chamas e aos gases quentes ou inflamáveis.

A resistência ao fogo com base no critério de isolamento térmico (I) pode ser determinada pelo método da espessura efetiva (h_{eff}), de acordo com as secções 4.3.2(3) e D.4 do Anexo D da norma NP EN 1994-1-2:2011, em que o volume de betão por unidade de superfície da laje mista é convertido para se obter uma laje maciça com uma espessura equivalente ao mesmo volume de betão.

Este método só se aplica a lajes mistas diretamente aquecidas, não protegidas por qualquer isolamento, e também sem qualquer isolamento entre a laje e o revestimento de piso.

No Quadro A.15 apresentam-se para as diversas espessuras das lajes COLABORANTE PC65 previstas no presente Documento de Aplicação as correspondentes classes de resistência ao fogo com base no critério de isolamento térmico (I), determinadas de acordo com o método referido, o qual também é apresentado no mesmo quadro. O quadro indica as classes que se podem obter, como exemplo, em duas situações de espessuras de revestimento de piso: sem revestimento de piso e com 30 mm de revestimento de piso.

A norma não esclarece a constituição das camadas de revestimento de piso, mas admite-se que se refere a camadas realizadas com base em argamassas cimentícias.

A resistência ao fogo das lajes mistas poderá ainda ser incrementada, em conformidade com os resultados de ensaios específicos, através da colocação de proteções adequadas na face inferior dessas lajes, as quais podem ser realizadas através de:

- tetos falsos apropriados, por exemplo tetos falsos contínuos de placas de gesso cartonado;
- projeção de argamassa cimentícia de agregados correntes ou de agregados leves (vermiculite, perlite ou fibras minerais);
- pintura com tinta intumescente.

No caso de edifícios de habitação as exigências a satisfazer são as que constam do Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro, e posteriores alterações, que estabelece o regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios, e do Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE), aprovado pela Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro, e posteriores alterações. Os pavimentos podem satisfazer às exigências deste regulamento tendo em conta as medidas atrás referidas que em cada caso podem ser adotadas.

5.3 Isolamento sonoro

Os pavimentos acabados, como elementos de compartimentação entre espaços interiores sobrepostos de edifícios, contribuem largamente para o isolamento sonoro que se pode estabelecer entre esses espaços, o qual, de acordo com o disposto na regulamentação em vigor, deve ser determinado com base em ensaios a realizar no local. Os parâmetros que caracterizam esse isolamento sonoro são o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea e o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, podendo esses índices, no projeto dos pavimentos, ser estimados de acordo com a metodologia a seguir referida.

O índice de isolamento sonoro a sons aéreos, R_w , dos pavimentos acabados, incluindo os revestimentos de piso e de teto rigidamente ligados à laje, depende da sua massa, o que permite que os valores do R_w possam, de um modo aproximado, ser estimados através da "lei da massa", embora esta "lei" se aplique a elementos homogéneos.

No caso destes pavimentos, a existência de zonas aligeiradas, que alternam com as nervuras, pode conduzir a ligeiras reduções dos valores do R_w que serão tanto maiores quanto maior for o aligeiramento, traduzido, nas lajes, pelo menor valor da relação entre a espessura do betão acima das nervuras (h_c) e a altura das nervuras (h_p), ou seja, quanto menor for a altura total (h) das lajes.

Nos casos em que o isolamento proporcionado pelo pavimento é superior a 35 dB e inferior a 45 dB deve também prever-se a contribuição da transmissão marginal, que se traduz, em termos médios, numa redução de 3 dB nos valores de R_w . Para valores de R_w superiores a 45 dB é aconselhável recorrer à verificação do comportamento em obra, pois as previsões podem revelar-se bastante falíveis.

Se não se considerarem as reduções anteriormente referidas, devidas à existência de zonas aligeiradas, para um pavimento com uma massa de 260 kg/m² estima-se um valor de R_w próximo de 48 dB.

O índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L_{n,w'}$, para além de depender da constituição da laje é função do tipo de revestimento de piso a adotar. É possível estimar-se esse índice recorrendo à aplicação do invariante $R_w + L_{n,w'}$, desde que se conheça a massa por unidade de superfície do pavimento, admitindo a aplicabilidade da “lei da massa” para a determinação de R_w .

No caso de lajes aligeiradas, não revestidas, é recomendada a adoção do valor 120 para o invariante $R_w + L_{n,w'}$ referido [$L_{n,w'}$ em dB/(oit./3)], o que, conhecido o valor de R_w , permite a determinação de $L_{n,w'}$.

Tal como ocorre para os sons aéreos, deve admitir-se uma transmissão marginal dos sons de percussão, que se traduz em média num acréscimo dos valores do $L_{n,w'}$ inicialmente estimados, em cerca de 2 dB.

As exigências de isolamento sonoro a satisfazer são as que constam do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 129/2002, de 11 de maio, e posteriores alterações.

5.4 Isolamento térmico

Os parâmetros que caracterizam o isolamento térmico – resistência térmica, R , ou coeficiente de transmissão térmica superficial, U – podem ser determinados recorrendo a métodos convencionais.

Estes parâmetros devem ser determinados nas situações em que os pavimentos têm de satisfazer exigências de isolamento térmico, como é o caso de lajes de esteira ou de cobertura e de pavimentos sobre espaços exteriores ou locais não aquecidos.

Estes pavimentos, por si sós, não garantem a satisfação das exigências aplicáveis, que constam do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, que estabelece os requisitos aplicáveis aos edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE). A Portaria n.º 138-I/2021, de 1 de julho, regulamenta os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e a respetiva aplicação em função do tipo de utilização.

Assim, para as referidas situações (lajes de esteira ou de cobertura e de pavimentos sobre espaços exteriores ou locais não aquecidos), devem ser previstas soluções de isolamento térmico complementares.

5.5 Outras características de desempenho

Outras características de desempenho dos pavimentos, para além das que foram referidas anteriormente, como, por exemplo, a estanquidade e o aspeto, estão associadas, em particular, às características dos revestimentos de piso ou dos revestimentos de teto a utilizar face às exigências a satisfazer em cada situação de uso.

Não existem condicionamentos específicos aos revestimentos que em geral são utilizados, quer na face superior das lajes, quer na sua face inferior, incluindo tetos falsos, os quais devem satisfazer às condições previstas nos documentos de índole normativa aplicáveis a esses revestimentos.

6 CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO DOS PAVIMENTOS

6.1 Disposições construtivas

Apresentam-se seguidamente as principais disposições construtivas a adotar na execução dos pavimentos, nos casos abrangidos pelo campo de aplicação que lhes é definido em 2.

As condições de execução dos pavimentos devem ser adequadamente descritas e pormenorizadas no projeto de execução.

Independentemente das disposições construtivas a seguir recomendadas, deve o detentor dos pavimentos fornecer aos utilizadores indicações sobre os cuidados a ter no transporte, no armazenamento, na movimentação e na colocação em obra das chapas perfiladas.

Devem ser, em geral, cumpridos os requisitos constantes da norma NP EN 1090-4.

a) Apoio das lajes e solidarização

De acordo com o previsto na secção 9.2.3 da NP EN 1994-1-1, o comprimento dos apoios da laje mista deve ser suficiente para evitar qualquer dano das lajes e dos apoios, para permitir que a fixação das chapas aos apoios seja feita sem danificação destes e para impedir a ocorrência de colapso resultante de um deslocamento acidental durante a construção.

Os comprimentos dos apoios da chapa perfilada (l_{bs}) e da laje mista (l_{bc}), como se indica na Figura 3, devem satisfazer aos seguintes valores:

- para lajes mistas sobre apoios de aço ou de betão:
 $l_{bs} \geq 50 \text{ mm}$ e $l_{bc} \geq 75 \text{ mm}$;
- para lajes mistas sobre apoios de outros materiais:
 $l_{bs} \geq 70 \text{ mm}$ e $l_{bc} \geq 100 \text{ mm}$.

Em regiões de maior sismicidade, deve prever-se a solidarização da laje aos apoios de extremidade e intermédios através de armadura amarrada aos conectores das vigas mistas de aço-betão, no caso de os suportes serem vigas de aço, ou através de armadura amarrada às vigas ou aos lintéis de bordo, no caso de os suportes serem de betão armado ou de alvenaria.

b) Escoramento das chapas perfiladas

A chapa perfilada, depois de colocada, serve de plataforma de trabalho e de cofragem para o betão. Em muitos casos, as chapas perfiladas, tendo em conta a sua resistência à flexão, e em particular se existirem apoios intermédios, não necessitam de escoramento, desde que os valores dos vãos máximos sem escoramento previstos no Quadro A.4 sejam satisfeitos.

No entanto, quando o vão é tal que seja necessária a utilização de escoramento provisório, este deve ser colocado a meio do vão (ou a terços ou a quartos do vão, no caso de duas ou três linhas de escoramento), antes da moldagem do betão.

O tempo que o escoramento deve permanecer depende da qualidade do betão, das condições de cura e endurecimento do betão e das cargas.

A chapa não pode ser interrompida no local onde o escoramento está colocado, uma vez que este apenas garante um apoio provisório.

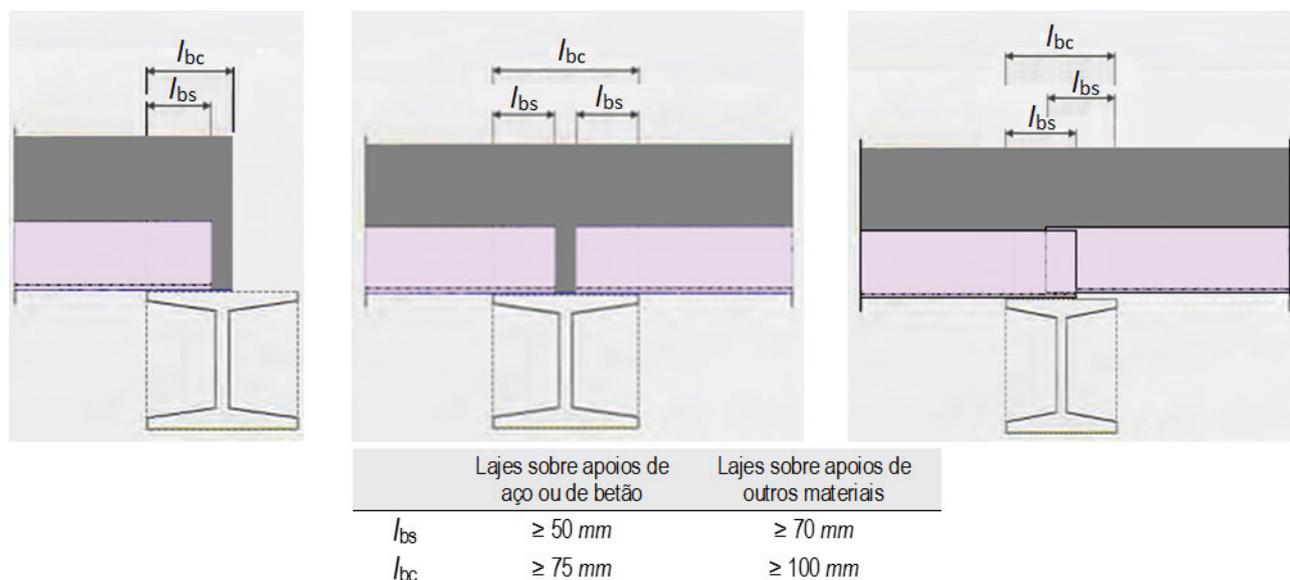


Figura 3 – Comprimentos de apoio mínimos

No escoramento devem ser utilizadas vigas de madeira suficientemente largas (largura $\geq 100 \text{ mm}$) para evitar a deformação local das chapas durante a betonagem, em particular, se se trata de chapas com face inferior aparente (ver Figura 4).

A colocação do escoramento sob as chapas, antes do início dos trabalhos a realizar sobre elas, deve respeitar as distâncias previstas no projeto de execução.

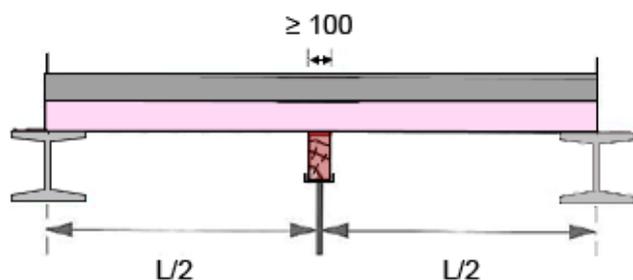


Figura 4 – Largura mínima das vigas de madeira do escoramento

c) Colocação e fixação das chapas perfiladas

c.1) Fixação da chapa à estrutura

As chapas devem ser fixadas à estrutura de suporte, a fim de que elas não se possam deslocar sob a ação do vento ou durante a betonagem, sendo que essa fixação se deve fazer em cada apoio, no mínimo, uma em cada duas nervuras. No apoio de extremidade das chapas, a fixação deve ser feita em cada uma das nervuras. Deve verificar-se uma distância mínima de 20 mm entre a fixação e o bordo da chapa. O tipo de fixação é função da estrutura. Em estruturas metálicas, podem ser utilizados pregos por disparo ou parafusos auto-roscentes ou autoperfurantes. Em estruturas de betão, podem ser utilizadas chapas de aço embebidas no betão, onde se fixam as chapas perfiladas. No caso de estruturas de madeira, podem ser utilizados pregos de aço de cabeça larga.

c.2) Sobreposição lateral das chapas e ligação entre chapas

A sobreposição lateral das chapas deve ser efetuada de acordo

com o esquema apresentado na Figura 5.

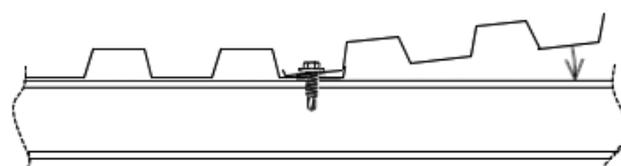


Figura 5 – Sobreposição lateral das chapas e fixação sobre apoio

Para evitar a abertura das chapas durante as operações de betonagem recomenda-se a ligação entre elas, a qual pode ser feita por parafusos ou por rebites, distanciados entre si de 1,0 m, no máximo.

d) Armaduras

As armaduras a utilizar nas lajes mistas aço-betão, dependendo do tipo de reforço que se pretende, correspondem às que a seguir são referidas.

d.1) Armadura de distribuição

A armadura de distribuição tem como função a resistência aos esforços de tração devidos às cargas pontuais de valor reduzido e à retração e deve satisfazer as seguintes condições:

- Coloca-se a uma distância da face superior das lajes de modo a garantir um recobrimento calculado de acordo com a secção 4.4.1 da NP EN 1992-1-1, com um valor mínimo de 20 mm.
- De acordo com a secção 9.2.1 da norma NP EN 1994-1-1, a área da armadura de distribuição, nas duas direções, não deve ser inferior a $80 \text{ mm}^2/\text{m}$. Esta armadura deve ser colocada na espessura da lajeta de betão (h_c), não devendo o espaçamento dos varões exceder o menor dos valores $2h$ e 350 mm (ver Figura 6). Nas regiões de maior sismicidade recomenda-se que a armadura de distribuição, nas duas direções, seja no mínimo de $142 \text{ mm}^2/\text{m}$, com amarração adequada para permitir o funcionamento em diafragma da laje.

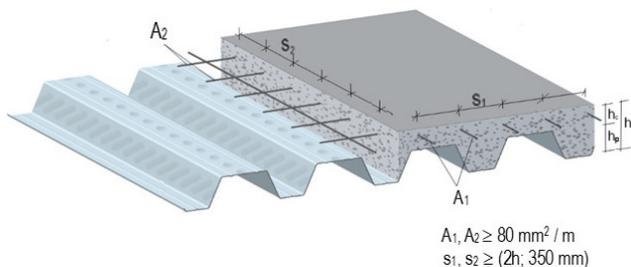


Figura 6 – Área e espaçamento da armadura de distribuição

d.2) Armadura nos apoios

Nas lajes contínuas é necessário colocar, na zona dos apoios intermédios, armadura para resistir aos momentos negativos. Esta armadura deve ser determinada efetuando a verificação da segurança, quer em relação aos estados limites últimos, quer em relação ao estado limite de utilização, neste caso de fendilhação (respetivamente, secção 9.7.2(7) e secção 9.8.1 da NP EN 1994-1-1:2011), e deve ser constituída por varões com um afastamento não superior a $2h$ ou 350 mm e um comprimento não inferior a $1/3$ do vão correspondente. Deverá ter um recobrimento, c , calculado de acordo com a secção 4.4.1 da NP EN 1992-1-1, com um valor mínimo de 25 mm (ver Figura 7).

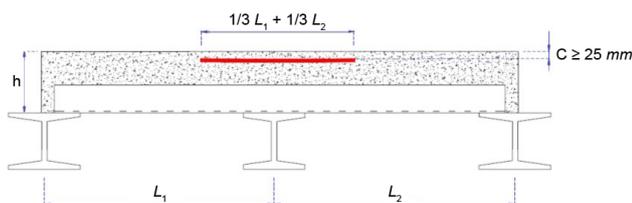


Figura 7 – Armadura sobre os apoios intermédios

d.3) Armadura adicional

Para garantir capacidade resistente adicional das lajes mistas aos esforços de flexão, coloca-se armadura adicional, constituída por varões de aço, no interior das nervuras dessas lajes. Esta armadura também serve para aumentar a resistência ao fogo dessas lajes, uma vez que, em caso de incêndio, a contribuição das chapas perfiladas diminui com o aumento da temperatura que se pode verificar nessas chapas (ver Figura 8).

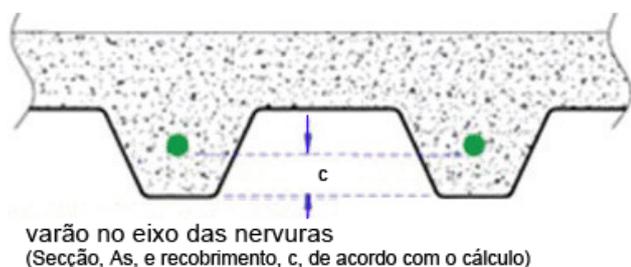


Figura 8 – Disposição da armadura adicional para momentos positivos

d.4) Armadura transversal para cargas concentradas pontuais e lineares

Na secção 9.4.3 da norma NP EN 1994-1-1:2011 são apresentados os critérios relativos às larguras efetivas a considerar na

determinação dos esforços e da armadura a adotar, no caso da atuação de cargas concentradas, pontuais ou lineares, sobre a laje. De acordo com a mesma secção, poderá utilizar-se uma armadura transversal nominal não calculada se o valor característico das sobrecargas não exceder os seguintes valores:

- Carga concentrada: 7,5 kN;
- Cargas distribuídas: 5,0 kN/m².

Esta armadura transversal nominal deve ter uma secção transversal com uma área não inferior a 0,2% da área do betão localizado acima das nervuras, A_c , e deve dispor-se numa largura não inferior a b_{em} , como calculada na mesma secção, a que acresce o comprimento de amarração contado para além desta largura (ver Figura 9).

e) Acessórios para remate de bordo das lajes

Como elementos de cofragem de bordo das lajes são utilizadas peças de chapa enformadas a frio, com espessura de 1,0 mm, 1,25 mm ou 1,5 mm, no caso de lajes com alturas de 12 a 14 cm, 15 a 17 cm ou 18 a 20 cm, respetivamente, que são fixadas diretamente à estrutura e ligadas, através de tiras de chapa de aço, às chapas perfiladas (ver Figura 10).

Tal como referido na norma NP EN 1090-4, estes elementos devem cumprir os mesmos requisitos de durabilidade, proteção contra a corrosão e reação ao fogo que as chapas perfiladas, salvo especificação em contrário.

f) Aberturas

As aberturas em lajes são situações comuns, nomeadamente pela necessidade de efetuar a passagem de tubagens de instalações.

Essas aberturas não devem ser realizadas por demolição do betão, que implica risco de perda de conexão entre o betão e a chapa perfilada, mas devem ser convenientemente previstas e localizadas antes da betonagem das lajes. A execução das aberturas implicará assim a delimitação do seu contorno, a colocação de eventual reforço e, após a colocação do betão e de este ter adquirido a resistência suficiente, o corte das chapas perfiladas na zona das aberturas. As secções das chapas onde se efetua o corte devem ser protegidas com um revestimento por pintura de zinco.

As disposições construtivas, nomeadamente no que se refere ao reforço, que se torna necessário adotar para a execução das aberturas dependem das dimensões e da localização na laje dessas aberturas.

Para dimensões de aberturas superiores a 0,50 m convém prever elementos estruturais complementares, enquanto para dimensões entre 0,20 m e 0,50 m devem ser previstos reforços com perfis metálicos no contorno dessas aberturas. Para aberturas inferiores a 0,20 m, em particular, aberturas entre nervuras, poderá ser previsto apenas um reforço, no seu contorno, com armaduras incorporadas no betão.

No entanto, a adoção destas disposições deve ser sempre convenientemente justificada em projeto.

g) Moldagem e cura do betão

Durante as operações de betonagem das lajes devem seguir-se as seguintes recomendações:

- Deve ser utilizado preferencialmente betão bombeado.

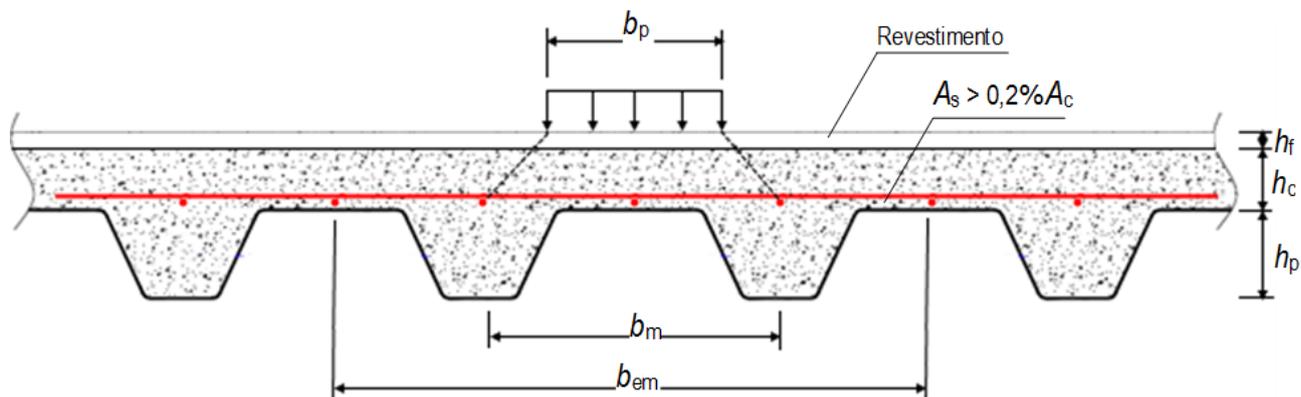


Figura 9 – Disposição da armadura para cargas concentradas

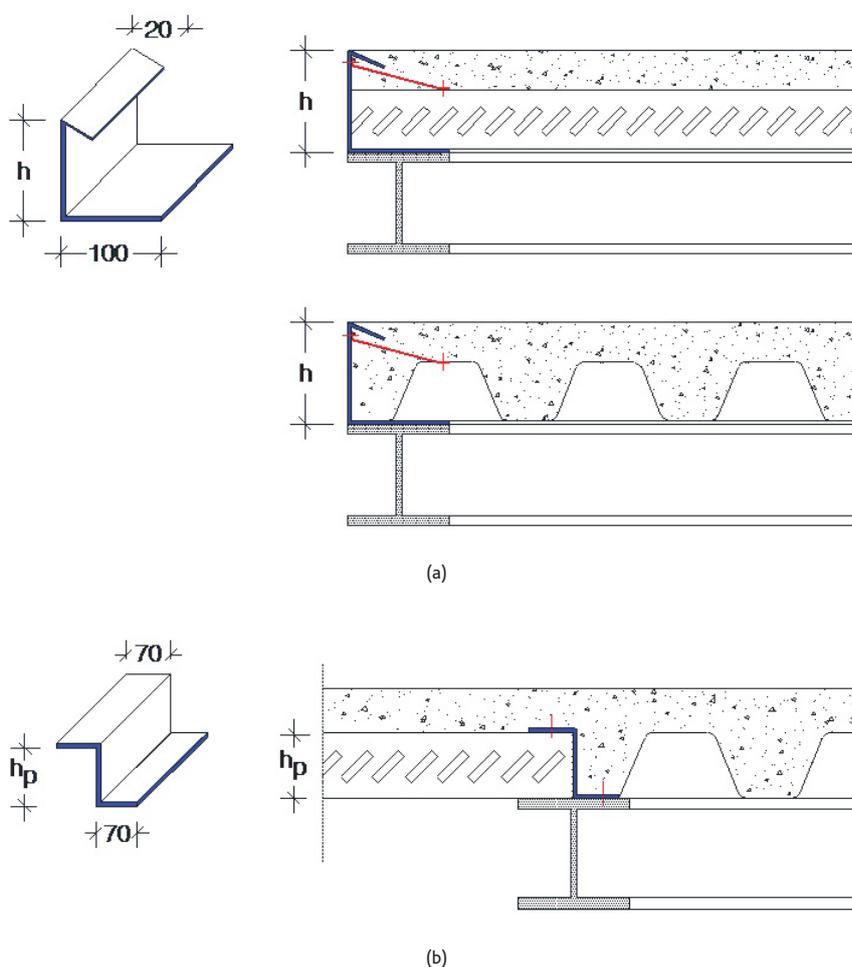


Figura 10 – Acessórios para remate de bordo das lajes

- A colocação do betão sobre as chapas perfiladas deve ser efetuada o mais próximo possível da sua posição final.
- Deve proceder-se ao espalhamento do betão logo que possível, evitando a sua acumulação.
- O betão deve ser colocado sobre os elementos estruturais, progredindo em direção ao centro dos tramos.
- Antes e depois do alisamento da superfície do betão, deve proceder-se à verificação da espessura total prescrita para a laje, tanto na zona central dos vãos como na zona dos apoios.
- O efeito de “poça”, que corresponde a um aumento da espessura da camada de betão devido à deformação das chapas, deve ser controlado.
- O betão deve ser compactado utilizando uma vibração moderada.
- Em geral as perdas de leitada através das juntas entre chapas são reduzidas. No entanto, no caso de elas ocorrerem poderão ser limpas com a aplicação de jato de água na face inferior das chapas durante a betonagem.

Durante os primeiros dias do endurecimento deve manter-se o betão em ambiente húmido, por exemplo, por meio de rega ou da utilização de uma membrana de cura, a qual deve ser conservada humedecida. A extensão e duração destes cuidados dependem das condições de temperatura e humidade ambientais.

6.2 Condições específicas de segurança em obra

Para além das medidas gerais de segurança a adotar em obra, como por exemplo, no que se refere à existência de guardas de proteção e de acesso estável à zona de trabalho, e à utilização de equipamento individual de segurança, a execução de lajes mistas implica a adoção de medidas específicas de segurança entre as quais se referem as seguintes:

- verificação da estabilidade do eventual escoramento e regulação do nível do mesmo em relação à face superior das vigas de apoio das chapas perfiladas, a fim de garantir a estabilidade destas;
- colocação do eventual escoramento antes da utilização das chapas para circulação das pessoas;
- colocação das chapas a partir de plataformas de trabalho estáveis;
- controlo do sentido de colocação das chapas;
- verificação das condições atmosféricas antes da colocação das chapas; a ocorrência de vento forte pode conduzir ao levantamento e voo das chapas com consequências muito graves;
- utilização pelos operários, quando necessário, de proteção adequada contra a radiação solar direta e refletida nas chapas galvanizadas.

7 MODALIDADES DE COMERCIALIZAÇÃO E DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA

7.1 Modalidades de comercialização

A empresa COLABORANTE, S.A. comercializa as chapas perfiladas através da venda direta ou por intermédio de uma das seguintes entidades: revendedores, empresas de construção metalomecânica ou subempreiteiros de serralharia civil.

As encomendas são efetuadas mediante a indicação do tipo, comprimento e quantidade de chapas perfiladas pretendidas, sendo estas cortadas à medida e, quando solicitado, entregues em obra.

7.2 Assistência técnica

A empresa COLABORANTE, S.A. presta assistência técnica em gabinetes de projeto e em obra, sempre que para tal for solicitada.

A assistência técnica inclui a apresentação do sistema de pavimentos e dos elementos técnicos correspondentes, em fase anterior ao desenvolvimento do projeto ou como opção para substituição de outras soluções de pavimentos, e a prestação de esclarecimentos técnicos e o fornecimento de documentação complementar sempre que necessário, em fase de desenvolvimento do projeto ou da obra.

8 ANÁLISES EXPERIMENTAL E NUMÉRICA

8.1 Condições de realização das análises

Os ensaios realizados no LNEC no âmbito do estudo que conduziu à emissão do presente Documento de Aplicação incidiram sobre chapas de bobinas e chapas perfiladas com as espessuras nominais de 0,75 mm, 0,80 mm, 1,00 mm e 1,20 mm e constaram de:

- verificação das características dimensionais sobre a espessura de chapas de bobinas e sobre a geometria da secção transversal (profundidade das nervuras, distância entre nervuras, largura dos banzos superiores e inferiores das nervuras, largura de cobertura e espessura) e a geometria das bossas nas faces laterais e no banzo superior das nervuras das chapas perfiladas, com base nas normas EN 10143:2006, NP EN 508-1:2014, NP EN 1090-4:2022 e NP EN 1994-1-1:2011;
- verificação das características mecânicas das chapas com base nas normas EN ISO 6892-1:2019 – Método B e NP EN 10346:2016;
- verificação da massa e da espessura da camada de proteção por galvanização das chapas com base nas normas NP EN ISO 1460:2021 e NP EN 10346:2016;
- determinação dos parâmetros m e k , de acordo com o especificado no Anexo B.3 da norma NP EN 1994-1-1:2011, a qual foi realizada apenas sobre a chapa perfilada de 0,75 mm.

Os cálculos, que incluíram a análise numérica para determinação das características mecânicas das lajes, a que se refere a secção 5.1 deste Documento, foram efetuados no LNEC com base nos critérios aplicáveis das normas NP EN 1990:2009, NP EN 1991-1-1:2009, EN 1991-1-6:2005, NP EN 1992-1-1:2010, NP EN 1993-1-1:2010, EN 1993-1-3:2006, EN 1993-1-5:2006 e NP EN 1994-1-1:2011, a partir dos critérios gerais estabelecidos nesta última norma para lajes mistas de aço-betão.

8.2 Resultados dos ensaios

Os resultados dos ensaios realizados para a emissão do presente Documento de Aplicação, que constam do relatório n.º 348/2022-DED/NEG, de dezembro de 2022, confirmaram que as chapas perfiladas possuíam as características definidas em 1.2. Estas características mantiveram-se tal como foram definidas no Documento de Aplicação DA 97, que antecede o presente documento, as quais foram à data comprovadas pelos resultados dos ensaios que constam dos relatórios n.º 282/2016-DED/NEG, de outubro de 2016, e n.º 38/2018-DED/NEG, de janeiro de 2018.

8.3 Resultados dos cálculos

Tendo-se mantido as características dos elementos constituintes das lajes, apresentados em 1.2, as quais serviram de base para a determinação das características mecânicas das chapas perfiladas e das lajes mistas, e não se tendo verificado alterações nos critérios de cálculo, os resultados dos cálculos são os que constam do relatório n.º 277/2018- DED/NEG, de julho de 2018.

9 VISITAS A OBRAS

Foram realizadas algumas visitas a obras em curso, as quais permitiram aferir algumas das condições de execução expostas na secção 6.

Foram também visitados edifícios em fase de serviço executados com pavimentos de lajes mistas COLABORANTE PC65.

10 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO

Em face dos resultados dos ensaios realizados no âmbito do estudo efetuado pelo LNEC, considera-se que o sistema de pavimentos COLABORANTE PC65, constituído por lajes mistas aço-betão executadas a partir de chapas perfiladas de aço com as espessuras nominais de 0,75 mm, 0,80 mm, 1,00 mm e 1,20 mm, é adequado ao uso previsto.

Desde que o sistema em questão seja aplicado nas condições definidas no presente Documento de Aplicação e sejam respeitadas outras prescrições nele incluídas, nomeadamente em relação à qualidade das chapas perfiladas de aço utilizadas e às condições de execução dos pavimentos, pode estimar-se que estes pavimentos, construídos com o sistema COLABORANTE PC65, possuem um período de vida útil de cinquenta anos.

A indicação acerca do período de vida útil não pode ser interpretada como uma garantia dada pelo fabricante ou pelo LNEC. Essa indicação deve apenas ser considerada como um meio para a escolha de produtos e sistemas adequados em relação à vida útil prevista e economicamente razoável das obras. O período de vida útil pode ser consideravelmente mais longo em condições normais de utilização sem que ocorra uma degradação do pavimento afetando os requisitos básicos das obras.

Salienta-se a necessidade de, em determinadas situações particulares, poder ser necessário prever soluções construtivas complementares com vista ao cumprimento pelos pavimentos das exigências regulamentares de segurança contra incêndio, de isolamento acústico e de isolamento térmico.

11 ENSAIOS DE RECEÇÃO

Os ensaios de receção em obra justificar-se-ão para verificar a identidade dos componentes do sistema fornecidos relativamente aos que foram objeto do presente Documento de Aplicação. Compete à fiscalização tomar essa decisão.

Os ensaios a efetuar, por amostragem, sobre chapas perfiladas constarão de:

- verificação das dimensões e da massa das chapas, os quais devem satisfazer os valores respetivos indicados em 1.2.1.1, com base nos ensaios estabelecidos nas normas NP EN 508-1:2014, NP EN 1090-4:2022 e NP EN 1994-1-1:2011 e com base nas tolerâncias estabelecidas nas mesmas normas e indicadas no Quadro 2.
- verificação das características mecânicas do aço e das características da proteção das chapas, os quais devem satisfazer os valores respetivos indicados em 1.2.1.2, com base nos métodos de ensaio e nos critérios de avaliação estabelecidos nas normas EN ISO 6892-1:2019 - Método B e NP EN ISO 1460:2021 e na norma NP EN 10346:2016, respetivamente.

12 REFERÊNCIAS

Segundo informação fornecida pela empresa COLABORANTE, S.A., as chapas perfiladas para lajes mistas COLABORANTE PC65 são comercializadas em Portugal desde 2004, tendo desde então produzido cerca de 2 000 000 m² de chapas. A capacidade de produção máxima anual de chapas perfiladas é de 200 000 m².

Também de acordo com informação fornecida pela empresa, referem-se algumas das obras onde foram aplicadas as chapas perfiladas para execução de lajes mistas:

- Media Market, em Leiria;
- Novo Museu dos Coches, em Lisboa;
- Silo Auto - Aeroporto Sá Carneiro, no Porto;
- Edifício do Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto;
- Alargamento Bragaparque, em Braga;
- Dolce Vita, na Coruña;
- Retail Planet, no Barreiro;
- Centro Materno-Infantil do Norte, no Porto;
- Edifício The Flag, em Vila Nova de Famalicão;
- Sede EDP, em Lisboa;
- Requalificação dos Conventos de Santa Catarina, de Santa Joana e do Beato, em Lisboa
- Retail Park Porto – Unilabs
- LIDL, em Sobreda
- ALDI, em São João da Madeira
- Gare Arco do Cego, em Lisboa.

ANEXO

Características das chapas perfiladas e das lajes mistas

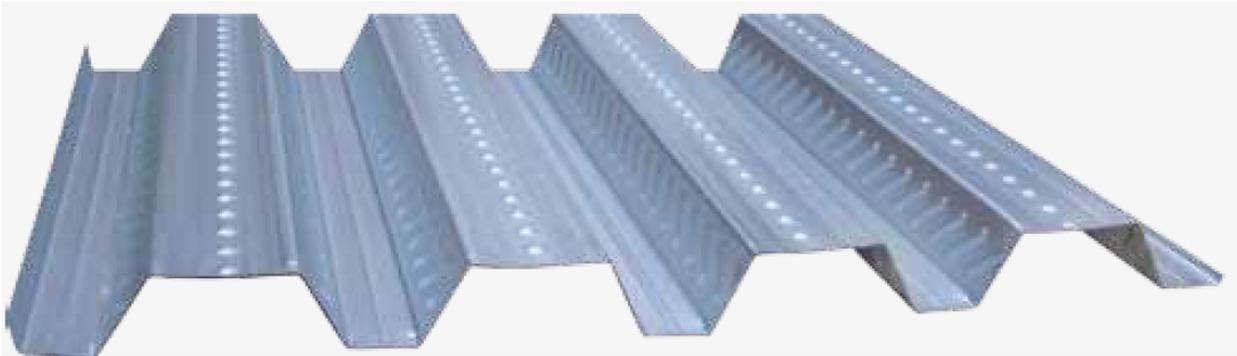
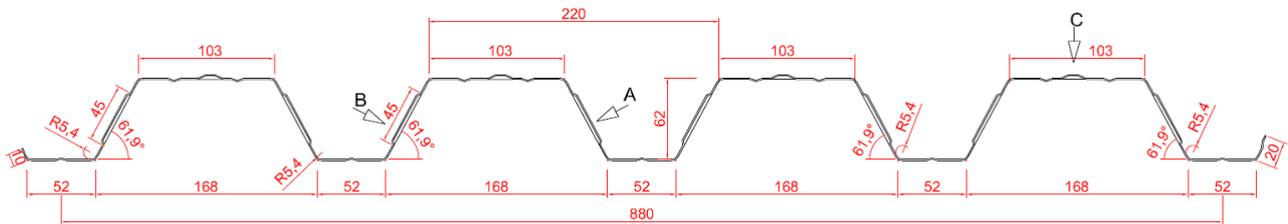
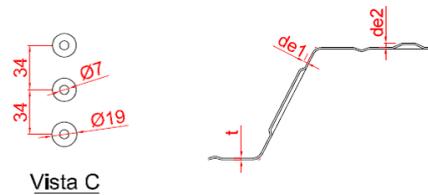
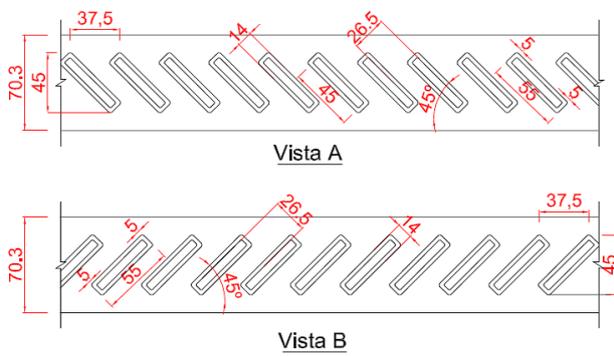


Figura A.1 – Geometria das chapas perfiladas COLABORANTE PC65



a) Dimensões da secção transversal das chapas

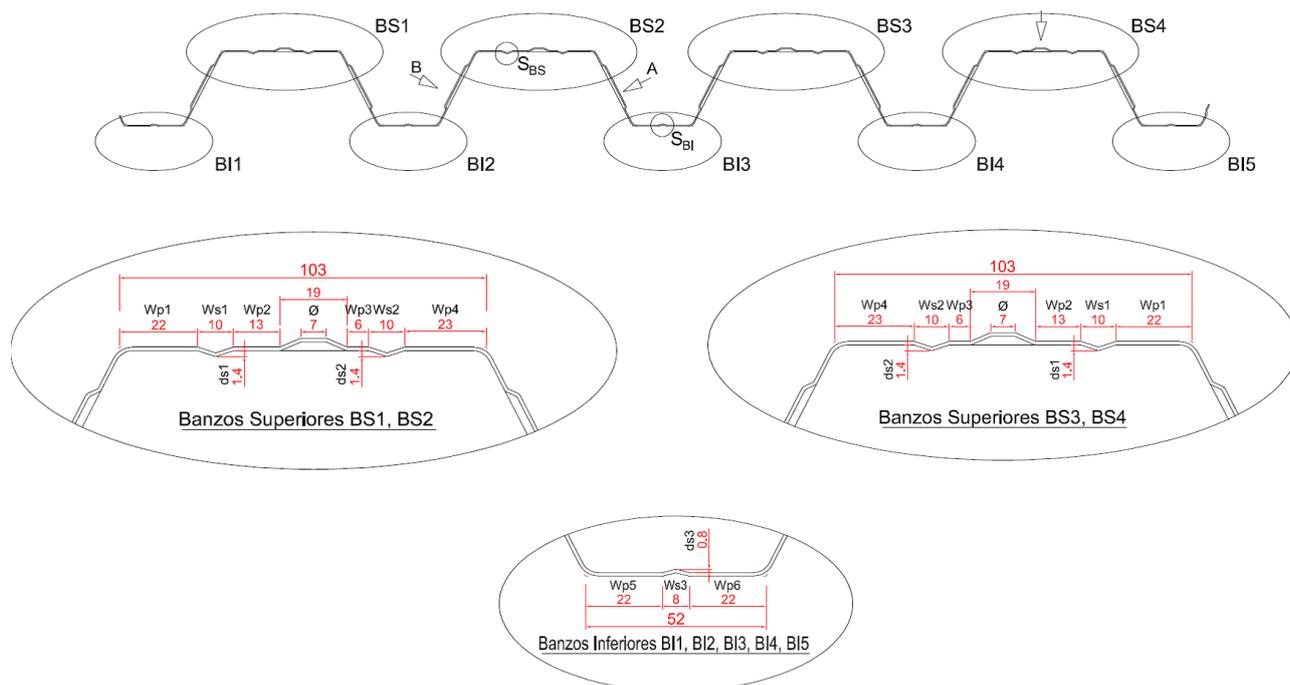


PROFUNDIDADE DAS BOSSAS

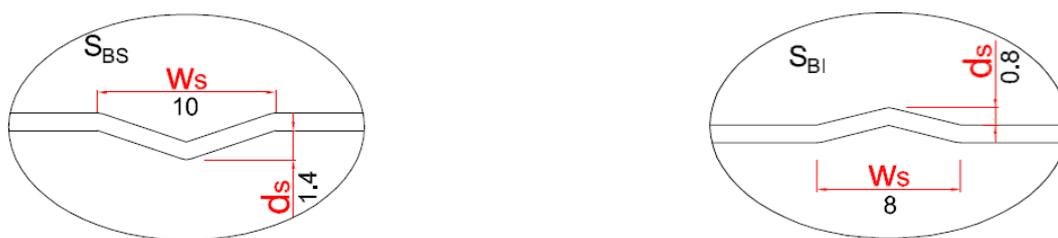
t = 0,75 mm:	de1 = 1,5 mm;	de2 = 1,5 mm
t = 0,80 mm:	de1 = 1,5 mm;	de2 = 1,5 mm
t = 1,00 mm:	de1 = 2,2 mm;	de2 = 2,2 mm
t = 1,20 mm:	de1 = 2,3 mm;	de2 = 2,3 mm

b) Pormenores das bossas dos banzos superiores e das almas das nervuras

Figura A.2 – Secção transversal e dimensões nominais das chapas perfiladas COLABORANTE PC65



a) Pormenores dos banzos superiores e dos banzos inferiores das nervuras



b) Pormenores dos rigidificadores dos banzos superior e inferior das nervuras

Figura A.3 – Dimensões nominais das superfícies planas e dos rigidificadores dos banzos superior e inferior das nervuras das chapas perfiladas COLABORANTE PC65

QUADRO A.1

Espessura, massa e peso próprio das chapas perfiladas

Designação	Espessura		Massa M (kg/m)	Peso próprio G_p (kN/m ²)
	Chapa com rev. de zinco e_r (mm)	Chapa sem revestimento e_p (mm)		
Perfil PC65				
0,75	0,75	0,71	7,39	0,087
0,80	0,80	0,76	7,88	0,092
1,00	1,00	0,96	9,86	0,116
1,20	1,20	1,16	11,79	0,138

QUADRO A.2
Características geométricas das chapas perfiladas

Tipo de secção	Perfil PC65	Área da secção A_p (cm ² /m)	Centro de gravidade y_G (cm)	Momento de inércia I_p (cm ⁴ /m)	Módulo de flexão		Verificação
					fibra inf. $W_{p,fi}$ (cm ³ /m)	fibra sup. $W_{p,fs}$ (cm ³ /m)	
Secção nominal (incluindo bossas)	0,75	9,55	3,64				1) Fase de serviço: • Resistência ao esforço de corte longitudinal
	0,80	10,22	3,64				
	1,00	12,91	3,64				
	1,20	15,60	3,64				
Secção efetiva (excluindo bossas)	0,75	6,03	3,64	51,0	14,0	20,0	2) Fase de cofragem: • Resistência ao esforço transversal 3) Fase de serviço: • Resistência aos momentos fletores positivos • Flecha
	0,80	6,46	3,64	54,6	15,0	21,4	
	1,00	8,16	3,64	69,0	18,9	27,0	
	1,20	9,86	3,64	83,3	22,9	32,6	
Secção efetiva em flexão positiva	0,75	4,53	2,81	38,2	13,6	11,2	4) Fase de cofragem: • Resistência aos momentos fletores positivos • Flecha
	0,80	4,87	2,82	41,1	14,6	12,1	
	1,00	6,30	2,90	53,5	18,5	16,2	
	1,20	8,02	3,06	68,8	22,5	21,9	
Secção efetiva em flexão negativa	0,75	5,36	4,10	41,0	10,0	19,5	5) Fase de cofragem: • Resistência aos momentos fletores negativos
	0,80	5,75	4,09	44,1	10,8	20,9	
	1,00	7,53	3,95	59,9	15,2	26,6	
	1,20	9,38	3,83	76,7	20,0	32,4	

QUADRO A.3
Volume e peso próprio do betão

Espessura da laje mista h (cm)	Volume de betão V_c (m ³ /m ²)	Peso próprio do betão fresco G'_2 (kN/m ²)	Peso próprio do betão endurecido G_2 (kN/m ²)
12	0,082	2,13	2,05
13	0,092	2,39	2,30
14	0,102	2,65	2,55
15	0,112	2,91	2,80
16	0,122	3,17	3,05
17	0,132	3,43	3,30
18	0,142	3,69	3,55
19	0,152	3,95	3,80
20	0,162	4,21	4,05

QUADRO A.4

Vãos máximos sem escoramento das chapas perfiladas em fase de cofragem

Espessura da laje mista h (cm)	Vão máximo sem escoramento l_{max} (m)							
	Perfil PC65 0,75		Perfil PC65 0,80		Perfil PC65 1,00		Perfil PC65 1,25	
	1 vão	2 vãos	1 vão	2 vãos	1 vão	2 vãos	1 vão	2 vãos
12	2,4	1,8	2,4	2,0	2,6	2,4	3,0	2,8
13	2,4	1,6	2,4	2,0	2,6	2,2	3,0	2,6
14	2,2	1,6	2,2	1,8	2,4	2,2	2,8	2,6
15	2,2	1,6	2,2	1,8	2,4	2,0	2,6	2,6
16	2,0	1,4	2,2	1,8	2,4	2,0	2,6	2,4
17	2,0	1,4	2,0	1,6	2,2	2,0	2,4	2,4
18	2,0	1,4	2,0	1,4	2,2	1,8	2,4	2,2
19	2,0	1,4	2,0	1,4	2,2	1,8	2,4	2,2
20	1,8	1,4	2,0	1,4	2,2	1,8	2,4	2,2

Notas

1 vão: um vão de comprimento igual a L, simplesmente apoiado;

2 vãos: dois vãos de comprimentos iguais a L, com um apoio intermédio de continuidade.

QUADRO A.5

Momento fletor resistente positivo para secções mistas com betão C20/25

h (cm)	Momento fletor resistente plástico positivo $M_{pl,Rd}$ (kNm/m)			
	Perfil PC65 0,75	Perfil PC65 0,80	Perfil PC65 1,00	Perfil PC65 1,20
12	14,5	15,4	18,8	22,0
13	16,4	17,5	21,4	25,1
14	18,3	19,5	24,0	28,3
15	20,3	21,6	26,6	31,4
16	22,2	23,7	29,2	34,6
17	24,1	25,7	31,9	37,7
18	26,1	27,8	34,5	40,9
19	28,0	29,9	37,1	44,0
20	29,9	31,9	39,7	47,2

QUADRO A.6

Momento fletor resistente positivo para secções mistas com betão C25/30

h (cm)	Momento fletor resistente plástico positivo $M_{pl,Rd}$ (kNm/m)			
	Perfil PC65 0,75	Perfil PC65 0,80	Perfil PC65 1,00	Perfil PC65 1,20
12	14,8	15,8	19,4	22,8
13	16,7	17,8	22,0	26,0
14	18,7	19,9	24,6	29,2
15	20,6	22,0	27,2	32,3
16	22,5	24,0	29,9	35,5
17	24,5	26,1	32,5	38,6
18	26,4	28,2	35,1	41,8
19	28,3	30,2	37,7	44,9
20	30,3	32,3	40,3	48,1

QUADRO A.7

Momento fletor resistente positivo para secções mistas com betão C30/37

h (cm)	Momento fletor resistente plástico positivo $M_{pl,Rd}$ (kNm/m)			
	Perfil PC65 0,75	Perfil PC65 0,80	Perfil PC65 1,00	Perfil PC65 1,20
12	15,0	16,0	19,8	23,4
13	17,0	18,1	22,4	26,6
14	18,9	20,1	25,0	29,7
15	20,8	22,2	27,6	32,9
16	22,8	24,3	30,3	36,0
17	24,7	26,3	32,9	39,2
18	26,6	28,4	35,5	42,4
19	28,6	30,5	38,1	45,5
20	30,5	32,5	40,7	48,7

QUADRO A.8

Esforço de corte longitudinal resistente

h (cm)	Esforço de corte longitudinal resistente				
	$V_{l,Rd} = \frac{k_1}{\alpha \cdot L} + k_2$ (kN/m)				
	k ₁				k ₂
Perfil PC65 0,75	Perfil PC65 0,80	Perfil PC65 1,00	Perfil PC65 1,20		
12	20,26	21,68	27,39	33,10	2,31
13	22,68	24,28	30,67	37,06	2,58
14	25,11	26,87	33,94	41,02	2,86
15	27,53	29,47	37,22	44,98	3,14
16	29,95	32,06	40,50	48,94	3,41
17	32,38	34,66	43,78	52,90	3,69
18	34,80	37,25	47,06	56,86	3,97
19	37,23	39,85	50,33	60,82	4,24
20	39,65	42,44	53,61	64,78	4,52

Notas:

L – vão da laje; α = 1,0 (laje simplesmente apoiada); α = 0,8 (laje contínua – vão intermédio); α = 0,9 (laje contínua – vão extremo)

QUADRO A.9

Esforço de corte vertical resistente mínimo

h (cm)	Esforço de corte vertical resistente mínimo		
	$V_{v,Rd}$ (kN/m)		
	Betão C20/25	Betão C25/30	Betão C30/37
12	15,13	16,92	18,54
13	16,83	18,82	20,62
14	18,53	20,72	22,70
15	20,24	22,62	24,78
16	21,94	24,52	26,87
17	23,64	26,43	28,95
18	25,34	28,33	31,03
19	27,04	30,23	33,11
20	28,74	32,13	35,20

QUADRO A.10

Centro de gravidade e momentos de inércia das secções das lajes mistas com Perfil PC65 0,75

h (cm)	Secção não fendilhada		Secção fendilhada		Inércia média I_m (cm ⁴ /m)
	x_e (cm)	I_1 (cm ⁴ /m)	x_e (cm)	I_2 (cm ⁴ /m)	
12	4,85	732	3,01	288	510
13	5,80	935	3,22	358	646
14	6,27	1166	3,42	436	801
15	6,74	1436	3,62	525	981
16	7,21	1750	3,80	623	1187
17	7,69	2109	3,98	731	1420
18	8,17	2519	4,15	850	1684
19	8,66	2982	4,32	978	1980
20	9,14	3503	4,48	1116	2309

QUADRO A.11

Centro de gravidade e momentos de inércia das secções das lajes mistas com Perfil PC65 0,80

h (cm)	Secção não fendilhada		Secção fendilhada		Inércia média I_m (cm ⁴ /m)
	x_e (cm)	I_1 (cm ⁴ /m)	x_e (cm)	I_2 (cm ⁴ /m)	
12	4,87	741	3,09	304	522
13	5,86	947	3,31	377	662
14	6,33	1180	3,52	460	820
15	6,80	1453	3,72	554	1003
16	7,27	1769	3,91	658	1213
17	7,75	2131	4,09	772	1452
18	8,23	2544	4,27	897	1720
19	8,72	3010	4,44	1033	2021
20	9,20	3534	4,61	1179	2357

QUADRO A.12

Centro de gravidade e momentos de inércia das secções das lajes mistas com Perfil PC65 1,00

h (cm)	Secção não fendilhada		Secção fendilhada		Inércia média I_m (cm ⁴ /m)
	x_e (cm)	I_1 (cm ⁴ /m)	x_e (cm)	I_2 (cm ⁴ /m)	
12	4,96	773	3,37	363	568
13	6,10	997	3,62	450	724
14	6,57	1239	3,85	550	894
15	7,04	1521	4,08	663	1092
16	7,51	1846	4,29	788	1317
17	7,99	2220	4,50	926	1573
18	8,47	2644	4,70	1077	1861
19	8,96	3123	4,89	1241	2182
20	9,44	3661	5,08	1418	2540

QUADRO A.13

Centro de gravidade e momentos de inércia das secções das lajes mistas com Perfil PC65 1,20

h (cm)	Secção não fendilhada		Secção fendilhada		Inércia média I_m (cm ⁴ /m)
	x_e (cm)	I_1 (cm ⁴ /m)	x_e (cm)	I_2 (cm ⁴ /m)	
12	5,05	805	3,62	417	611
13	6,35	1051	3,89	518	784
14	6,81	1300	4,14	633	967
15	7,28	1591	4,39	763	1177
16	7,75	1927	4,62	908	1418
17	8,23	2312	4,85	1068	1690
18	8,71	2748	5,06	1244	1996
19	9,20	3239	5,28	1435	2337
20	9,68	3790	5,48	1641	2716

QUADRO A.14

Armadura mínima junto à face superior das lajes

Espessura da laje mista h (cm)	Espessura da lajeta de betão h_c (cm)	Armadura mínima sobre o apoio de continuidade (*) (cm ² /m)		Armadura de distribuição nas duas direções (cm ² /m)
		Laje com escoramento	Laje sem escoramento	
12	5,8	2,32	1,16	0,8
13	6,8	2,72	1,36	0,8
14	7,8	3,12	1,56	0,8
15	8,8	3,52	1,76	0,88
16	9,8	3,92	1,96	0,98
17	10,8	4,32	2,16	1,08
18	11,8	4,72	2,36	1,18
19	12,8	5,12	2,56	1,28
20	13,8	5,52	2,76	1,38

Nota:

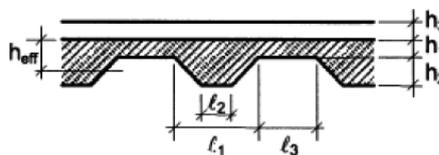
(*) Armadura mínima, de aço da classe A500, a considerar nos casos em que lajes com apoio de continuidade são dimensionadas como lajes simplesmente apoiadas.

QUADRO A.15

Classes de resistência ao fogo com base no critério de isolamento térmico (I)

Espessura da laje h (cm)	Espessura do betão acima da nervura h_1 (mm)	Espessura efetiva h_{eff} (mm)	Classe de resistência ao fogo (critério – isolamento térmico)				
			$h_{eff} + h_3$				
			≥ 80	≥ 100	≥ 120	≥ 150	≥ 175
			I 60	I 90	I 120	I 180	I 240
12	58	80,4	•	◦			
13	68	90,4	•		◦		
14	78	100,4		•	◦		
15	88	110,4		•	◦		
16	98	120,4			•	◦	
17	108	130,4			•	◦	
18	118	140,4				•◦	
19	128	150,4				•	◦
20	138	160,4				•	◦

$$h_{eff} = h_1 + 0,5h_2 \left(\frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_3} \right)$$



em que:

$l_1 = 117$ mm; h_1 (ver quadro);

$l_2 = 52$ mm; $h_2 = 62$ mm;

$l_3 = 103$ mm; h_3 = espessura do revestimento de piso (• $h_3 = 0$ mm; ◦ $h_3 = 30$ mm).

Descritores: Pavimento de edifício / Laje / Estrutura mista / Documento de aplicação
Descriptors: Building floor / Slab / Mixed structure / Application document

