



DOCUMENTO DE APLICAÇÃO

FAPREL-Fábrica de Artigos Pré-Esforçados, Lda.
Sede e fábrica:
Avenida Central de Guilhufe, n.º 908
4560-131 GUILHUFÉ - PNF
tel.: (+351) 25 572 98 60/1/2
fax: (+351) 25 572 98 69
e-e: industrial@faprel.pt
www.faprel.pt

FAPREL PAVIMENTOS ALIGEIRADOS DE VIGOTAS PREFABRICADAS DE BETÃO PRÉ-ESFORÇADO

PAVIMENTOS
FLOORS
PLANCHERS

NOVEMBRO DE 2012

A situação de validade do DA pode 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 construção de pavimentos FAPREL, constituído por vigotas prefabricadas de betão pré-esforçado, blocos de cofragem e betão complementar moldado em obra, do qual é detentora a empresa FAPREL – Fábrica de Artigos Pré-Esforçados, Lda..

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

- a empresa FAPREL – Fábrica de Artigos Pré-Esforçados, Lda. assegura a constância das condições de produção que permitem a aposição da Marcação CE, nomeadamente através de um adequado controlo interno da produção, sintetizado na secção 3;
- o campo de aplicação dos pavimentos respeita as regras descritas na secção 2;
- as condições de execução e utilização dos pavimentos respeitam as regras descritas na secção 6.

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

Este Documento de Aplicação é válido até 30 de novembro de 2015, 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 novembro de 2012.

O CONSELHO DIRETIVO

Carlos Pina
Presidente

1 DESCRIÇÃO DOS PAVIMENTOS

1.1 Descrição geral

Os pavimentos FAPREL são constituídos por vigotas prefabricadas de betão pré-esforçado e blocos de cofragem, recebendo em obra uma camada de betão armado (betão complementar) com função resistente e de solidarização do conjunto.

O seu funcionamento estrutural é comparável ao de uma laje com armadura resistente unidirecional, sendo indispensável, para que tal semelhança tenha validade, que se assegure e mantenha a necessária aderência entre o betão complementar e as vigotas.

As vigotas colocadas nos pavimentos FAPREL são objeto de Marcação CE, de acordo com a Norma Portuguesa NP EN 15037-1:2008 – “Produtos prefabricados de betão. Pavimentos com vigotas e blocos de cofragem. Parte 1: Vigotas”.

Os blocos de cofragem colocados nos pavimentos FAPREL, cuja produção tem sido até agora enquadrada pela Especificação LNEC E 436-1995, deverão passar a ser objeto de Marcação CE, de acordo com a Norma Europeia EN 15037-2:2009 + A1:2011 – “Precast concrete products – Beam-and-block floor systems. Part 2: Concrete blocks”.

1.2 Características dos elementos constituintes

1.2.1 Vigotas

As vigotas são prefabricadas, de betão pré-esforçado, com armadura constituída por fios de aço aderentes. No Anexo I são representados em corte transversal os diferentes tipos de vigotas com indicação dos valores relativos às suas dimensões e à posição dos fios de aço.

O betão, de comportamento especificado, de massa volúmica normal e consistência terra húmida, é conforme com a NP EN 206-1 e apresenta a seguinte designação: C35/45; XC1(Pt); Cl 0,20; D10.

Os fios de aço com as designações Y 1770 C 4,0 I e Y 1770 C 5,0 I, certificados pela Associação para a Certificação de Produtos (CERTIF), satisfazem às características mecânicas estabelecidas na Especificação LNEC E 452-2011 – “Fios de aço para pré-esforço. Características e ensaios”, a que correspondem os valores apresentados no quadro I:

QUADRO I

Características dos fios de aço

d (mm)	A (mm ²)	R _m (MPa)	F _m (kN)	F _{m, máx.} (kN)	F _{p0,1} (kN)	A _{gt} (%)	E (GPa)
4,0	12,6	1770	22,3	25,6	19,6	3,5	205 ± 10
5,0	19,6		34,7	39,9	30,5		

em que:

- d diâmetro (valor nominal)
- A área da secção transversal (valor nominal)
- R_m tensão de rotura à tração (valor nominal)

F_m força de rotura à tração (valor característico mínimo referente ao quantilho de 95%)

F_{m, máx.} força de rotura à tração máxima (valor nominal)

F_{p0,1} força limite convencional a 0,1% (valor característico mínimo referente ao quantilho de 95%)

A_{gt} extensão total na força máxima (valor mínimo)

E módulo de elasticidade

A relaxação dos fios de aço, às 1000 horas, em ensaios realizados nas condições definidas na secção 9.4 da referida Especificação, não deverá exceder 2,5%.

1.2.2 Blocos de cofragem

Os blocos de cofragem utilizados são de betão de agregados correntes. Todos os blocos são furados e têm formas de extradorso poligonais e ressaltos laterais para apoio nos banzos das vigotas.

A geometria e as massas nominais dos blocos são apresentadas no Anexo II.

1.2.3 Betão complementar

O betão complementar é aplicado em camada contínua de espessura variável, mas não inferior a 30 mm, e incorpora uma armadura de distribuição.

Este betão, de comportamento especificado, de massa volúmica normal, é conforme com a NP EN 206-1 e apresenta a seguinte designação: C25/30; XC1(Pt); Cl 0,40. A consistência do betão fresco e a máxima dimensão dos agregados devem permitir o preenchimento fácil e completo dos espaços entre as vigotas e os blocos de cofragem.

Nos quadros de Elementos de Medição do Anexo IV são fornecidos os valores da secção da armadura de distribuição a incorporar na camada de betão complementar.

2 CAMPO DE APLICAÇÃO

Tal como para outros pavimentos com a mesma constituição e o mesmo sistema estrutural, o campo de aplicação para os diversos tipos considerados dos pavimentos FAPREL abrange apenas o seu emprego em edifícios de habitação ou com ocupação e utilização semelhantes.

Não se consideram abrangidas as situações em que seja previsível a atuação predominante de ações resultantes de cargas concentradas ou de cargas dinâmicas, de choque e vibração, por mais elevada que seja a capacidade resistente dos pavimentos. Por este motivo, a utilização dos pavimentos nestes últimos casos cai fora do âmbito deste DA e carece de prévio estudo específico, eventualmente por verificação experimental.

A utilização dos pavimentos com vãos superiores a oito metros fica igualmente fora do âmbito do presente DA, devendo ser objeto de estudo adequado em cada caso de aplicação.

3 FABRICO E CONTROLO DA QUALIDADE

3.1 Vigotas

a) Instalações e processo de fabrico

As vigotas são fabricadas nas instalações localizadas na Zona Industrial, n.º 1, Guilhufe – Penafiel, por sistema mecanizado, sendo a sua moldagem feita, sem moldes fixos, sobre uma plataforma de betão, ao longo da qual se desloca um dispositivo mecânico de distribuição, moldagem lateral e compactação do betão por vibração.

A fim de evitar a aderência da base das vigotas à superfície da plataforma, esta é previamente humedecida com um produto líquido apropriado.

O pré-esforço é aplicado individualmente em cada fio utilizando macaco hidráulico acionado eletricamente e no qual se pode medir o alongamento dos fios e controlar, por manómetro, a força a aplicar de harmonia com a tensão de pré-esforço na origem indicada no Anexo I.

Terminada a betonagem, as vigotas são conservadas no local de fabrico em condições ambientais naturais, efetuando-se a molhagem da superfície do betão com água até à data em que o respetivo betão atinja o valor da resistência à compressão indicado no Anexo I.

Quando tais resistências são atingidas, o que normalmente se pode verificar entre 2 e 5 dias após a moldagem das vigotas, é feita a transmissão do pré-esforço dos fios às vigotas, por meio de corte individual destes, num dos topos da plataforma, utilizando para o efeito equipamento adequado.

Após esta operação, as vigotas são cortadas nos comprimentos desejados e retiradas do local de fabrico para depósito, com os cuidados de transporte necessários.

As instalações de fabrico são constituídas por 14 plataformas para moldagem simultânea de 10 linhas de vigotas por plataforma, a que correspondem cerca de 20 720 m de linhas de fabrico.

b) Controlo da produção

A empresa efetua um controlo de produção que incide basicamente sobre os seguintes aspetos: equipamento, matérias-primas (cimento, agregados e aço de pré-esforço), processo de fabrico e produto acabado.

Sobre o equipamento são efetuadas as seguintes verificações: calibração do equipamento de laboratório; calibração do equipamento de pesagem e de medição dimensional e volumétrica; aferição dos manómetros do macaco hidráulico; inspeções da betoneira, do macaco hidráulico e da máquina de moldagem (incluindo moldes e guia-fios).

Sobre o cimento, com Marcação CE, é efetuada, na receção, inspeção da guia de remessa.

Sobre os agregados, com Marcação CE, são efetuadas as seguintes verificações: na receção, inspeção da guia de remessa; e, na descarga, inspeção do aspeto e da granulometria.

Sobre o aço de pré-esforço são efetuadas, na receção dos rolos de fio, inspeções das etiquetas de identificação que acompanham esses rolos e do certificado de características dos aços.

Sobre o processo de fabrico são efetuadas as seguintes verificações: ensaios para determinação da resistência à

compressão de provetes moldados com o betão utilizado no fabrico das vigotas, na data de transmissão do pré-esforço às vigotas e aos 28 dias; medição do alongamento obtido na extremidade dos fios para confirmação das forças de pré-esforço aplicadas e registadas em manómetro; inspeção do aspeto das superfícies de betão durante a moldagem das vigotas e das condições de proteção contra a secagem.

Sobre o produto acabado são efetuadas as seguintes verificações: medição das dimensões da secção transversal, do posicionamento e do deslizamento da armadura de pré-esforço nas suas extremidades; da curvatura lateral e da flecha das vigotas; inspeção do estado das superfícies de betão, de defeitos aparentes, de marcação/etiquetagem, das condições de armazenamento e de fornecimento das vigotas.

3.2 Blocos de cofragem

a) Instalações e processo de fabrico

Os blocos de cofragem de betão de agregados correntes são fabricados pela própria empresa produtora dos pavimentos nas instalações localizadas na Zona Industrial, n.º 1, Guilhufe – Penafiel, em máquina vibradora e compactadora de instalação fixa, na qual são incorporados os moldes dos blocos de cofragem. Após a moldagem, os blocos de cofragem são conservados em condições ambientais naturais na secção de fabrico até adquirirem a resistência necessária para o seu manuseamento, sendo de seguida transportados para o local de armazenamento.

b) Controlo da produção

A empresa efetua um controlo de produção que incide basicamente sobre os seguintes aspetos: equipamento, matérias-primas (cimento, agregados), processo de fabrico e produto acabado.

Sobre o equipamento são efetuadas as seguintes verificações: calibração do equipamento de laboratório; calibração do equipamento de pesagem e de medição volumétrica; inspeções da betoneira e da máquina de moldagem (incluindo moldes).

Sobre o cimento, com Marcação CE, é efetuada, na receção, inspeção da guia de remessa.

Sobre os agregados, com Marcação CE, são efetuadas as seguintes verificações: na receção, inspeção da guia de remessa; e, na descarga, inspeção do aspeto e da granulometria.

Sobre o processo de fabrico é efetuada a seguinte verificação: inspeção do aspeto das superfícies de betão durante a desmoldagem dos blocos de cofragem.

Sobre o produto acabado são efetuadas as seguintes verificações: ensaios para a determinação da carga de rotura (punçoamento-flexão) dos blocos de cofragem, medição das dimensões dos blocos de cofragem e medição da massa dos blocos de cofragem.

4 IDENTIFICAÇÃO

As vigotas devem ser marcadas, de forma clara e indelével, com registo do nome da marca do pavimento, do tipo de vigota e da data do seu fabrico.

Quando tal não aconteça, cada fornecimento de vigotas deve ser acompanhado da informação acima indicada.

As vigotas colocadas no mercado têm aposta a marcação CE, acompanhada da informação constante do Anexo ZA da norma NP EN 15037-1. A empresa deve disponibilizar, a pedido, a respetiva declaração de conformidade CE.

5 APRECIÇÃO DOS PAVIMENTOS

5.1 Características mecânicas

No Anexo I e no Anexo III são fornecidos os valores das características mecânicas, respetivamente, das vigotas isoladas e dos pavimentos, necessários para a verificação da segurança em relação aos diferentes estados limites.

A determinação dos valores dessas características mecânicas foi efetuada através de cálculo automático em computador. O cálculo teve por base os valores das características mecânicas dos materiais constituintes dos pavimentos registados em 1.2 e o valor de pré-esforço na origem indicado no Anexo I.

Ao valor do pré-esforço na origem referido correspondem os valores de pré-esforço, ao fim de determinados intervalos de tempo, também indicados no Anexo I para as diferentes vigotas produzidas.

A determinação dos valores de cálculo dos esforços resistentes das vigotas e dos pavimentos teve em conta as disposições definidas na regulamentação em vigor aplicável, com as adaptações necessárias a este tipo de pavimentos.

Foram ainda determinados para os diferentes pavimentos os valores do fator de rigidez, EI , a utilizar na verificação do estado limite de deformação.

5.2 Comportamento em caso de incêndio

Os materiais constituintes dos pavimentos – quer os dos seus componentes prefabricados quer o betão complementar – são da classe de reação ao fogo A1 (não-combustíveis).

No que se refere à resistência ao fogo estes pavimentos poderão ser classificados, no mínimo, nas seguintes classes:

- REI 30 desde que apresentem um revestimento na face inferior com uma espessura mínima de 15 mm de argamassa de cimento e areia ou de cimento, cal e areia;
- REI 60 desde que apresentem um revestimento na face inferior com uma espessura mínima de 15 mm de argamassa de cimento e agregados leves (vermiculite, perlite ou fibras minerais).

Estas classes de resistência ao fogo poderão ser adotadas, desde que nos apoios se garanta um valor de cálculo do momento resistente último negativo não inferior a 15% do valor de cálculo do momento resistente último positivo, fornecido nas tabelas.

No caso de edifícios de habitação as exigências a satisfazer são as que constam no Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro, que estabelece o regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios, e no Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios, aprovado pela Portaria n.º 1532/2008,

de 29 de dezembro. Os pavimentos poderão satisfazer às exigências deste regulamento mediante uma criteriosa escolha do revestimento de teto.

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 homogêneos.

No caso destes pavimentos, a existência dos blocos de aligeiramento conduz a ligeiras reduções dos valores do R_w que serão tanto maiores quanto maior for o aligeiramento produzido, no pavimento, pelos blocos.

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, 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 de vigotas, 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 $L_{n,w'}$.

Analogamente ao referido para os sons aéreos, deve admitir-se a ocorrência de 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.

5.4 Isolamento térmico

Os parâmetros que caracterizam o isolamento térmico – resistência térmica, R , ou coeficiente de transmissão térmica, 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 Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, pelo que se torna necessário, naquelas situações, prever soluções de isolamento térmico complementar.

6 CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO E UTILIZAÇÃO DOS PAVIMENTOS

6.1 Condições relativas à verificação da segurança estrutural

A verificação da segurança dos pavimentos, com base nos valores de cálculo fornecidos no Anexo III, deve ser efetuada em relação aos estados limites últimos de resistência e em relação aos estados limites de utilização – fendilhação e deformação –, conforme os critérios definidos no Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes e no Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado.

a) Segurança em relação aos estados limites últimos de resistência

A condição de segurança em relação aos estados limites últimos de resistência exprime-se verificando que os valores de cálculo do momento fletor resistente e do esforço transversal resistente, designados por M_{Rd} e V_{Rd} , são iguais ou superiores aos correspondentes esforços atuantes, relativos às combinações de ações especificadas no artigo 9.º do Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes.

b) Segurança em relação aos estados limites de fendilhação

A condição de segurança em relação ao estado limite de fendilhação exprime-se verificando que o valor do momento resistente designado por M_{fctk} , correspondente à formação de fendas, é igual ou superior ao momento atuante devido às combinações de ações definidas de acordo com o artigo 12.º do Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes. Estas combinações de ações poderão ser, conforme as condições do meio ambiente, combinações frequentes, em ambiente pouco ou moderadamente agressivo, e combinações raras, em ambiente muito agressivo.

c) Segurança em relação aos estados limites de deformação

A condição de segurança em relação ao estado limite de deformação exprime-se verificando que o valor da flecha admissível, definida de acordo com o artigo 72º do Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado, é igual ou superior ao valor da flecha devida à combinação frequente de ações. No cálculo da flecha instantânea deverão ser utilizados os valores do fator de rigidez, fornecidos no Anexo III. A flecha a longo prazo, em que são tidos em conta os efeitos da fluência dos

betões, poderá ser determinada multiplicando o valor da flecha instantânea por um fator dado pela expressão

$$1 + \frac{M_{Sg}}{M_{Sg} + \sum \Psi_1 M_{Sg}} \times \varphi$$

em que M_{Sg} e $M_{Sg} + \sum \Psi_1 M_{Sg}$ são, respetivamente, os valores dos momentos fletores atuantes devido às ações permanentes e à combinação frequente de ações e φ é o coeficiente de fluência, a que se pode em geral atribuir o valor 2.

6.2 Condições gerais de execução dos pavimentos

Nos casos correntes, a execução dos pavimentos deve satisfazer à norma NP ENV 13670-1 – “Execução de estruturas em betão. Parte 1: Regras gerais”, em conformidade com o Decreto-Lei n.º 301/2007, de 23 de agosto, e realizar-se de acordo com:

- Nivelamento dos apoios para o assentamento das vigotas.
- Montagem de escoramento provisório, para apoio intermédio das vigotas. Deve notar-se que este escoramento tem de ser criteriosamente disposto de modo a evitar esforços de flexão capazes de provocar fendilhação das vigotas não só na sua face inferior, nas zonas entre os apoios, como também na face superior, sobre os apoios.
- Montagem das cofragens junto dos apoios dos pavimentos, para moldagem de zonas maciças nas condições recomendadas em 6.3, e ao longo das nervuras transversais que, no referido parágrafo, são preconizadas.
- Colocação das vigotas, dispostas paralelamente entre si, e acerto do seu afastamento por meio de cêrcea.
- Colocação dos blocos de cofragem entre vigotas, apoiados nos banzos destas, com eliminação das filas de blocos correspondentes às faixas maciças do pavimento.
- Disposição, nas condições recomendadas em 6.3, da armadura de distribuição, na camada de betão complementar, das armaduras das nervuras transversais e das armaduras nos apoios, quando previstas.
- Instalação de passadiços para trânsito de pessoal e de transporte do betão, a fim de evitar a circulação sobre os blocos de cofragem.
- Rega abundante das vigotas e dos blocos de cofragem, precedendo a betonagem, com vista a evitar a dessecação e melhorar a aderência do betão complementar.
- Lançamento, espalhamento, regularização e compactação do betão complementar, tendo o cuidado de assegurar a sua perfeita aderência às faces expostas das vigotas e a manutenção da espessura prevista da camada de betão acima dos blocos de cofragem. Deve notar-se que, por motivo da relativa e natural fragilidade da estrutura, quando em execução, estará restringido o uso de meios potentes de compactação, o que exige especial cuidado na condução da betonagem.
- Manutenção da humidade do betão em obra, durante os primeiros dias do endurecimento, por exemplo, por meio de rega ou de recobrimento, conservado humedecido, da superfície betonada. A extensão e duração destes cuidados dependerão das condições de temperatura e humidade ambientais.

6.3 Disposições construtivas e condições especiais de execução dos pavimentos

Definem-se seguidamente as principais disposições construtivas a adotar na execução dos vários tipos de pavimentos, nos casos abrangidos pelo campo de aplicação que lhes fica atribuído em 2. Independentemente das disposições construtivas a seguir recomendadas, deverá o produtor dos pavimentos fornecer aos utilizadores indicações sobre os cuidados a ter no transporte das vigotas, sua movimentação e colocação em obra.

a) Armadura de distribuição

Os pavimentos devem comportar sempre uma armadura de distribuição constituída por varões dispostos nas duas direções e integrada na camada contínua do betão complementar.

As secções mínimas desta armadura de distribuição, na direcção perpendicular à das vigotas e para o caso de emprego de varões de aço A235, A400 ou A500, são as que se indicam nos quadros de Armadura de Distribuição do Anexo IV e deverão ser satisfeitas por varões com espaçamento máximo de 250 mm.

Na direcção das vigotas, o espaçamento dos varões da armadura de distribuição poderá ser maior, mas não excedendo 350 mm.

Nos pavimentos com vão igual ou superior a quatro metros deverão ser dispostas, além da armadura de distribuição, nervuras transversais contínuas de betão armado espaçadas cerca de 2 metros. A largura destas nervuras deverá ser, no mínimo de 100 mm. A armadura deverá ser constituída, no mínimo, por dois varões colocados imediatamente acima das vigotas. A área da sua secção deverá ser obtida multiplicando metade da área da armadura de distribuição do pavimento, indicada no Anexo IV, pela distância entre nervuras transversais ou, no caso de existir apenas uma nervura, pela distância entre esta e o apoio.

b) Ações provenientes de paredes divisórias

Estes pavimentos poderão ser considerados com condições estruturais que permitam ter em conta as ações resultantes de paredes divisórias desde que essas ações sejam consideradas atuando nas suas condições reais, o que implica, na zona das divisórias, um reforço da armadura de distribuição, referida anteriormente. Porém, no caso de as paredes divisórias se encontrarem na direcção das vigotas dos pavimentos, deverá o reforço da armadura de distribuição ser complementado com a colocação de vigotas suplementares dispostas a par das previstas para o pavimento.

c) Apoio das vigotas e solidarização

As vigotas deverão ter, em geral, a entrega mínima de 100 mm, nos apoios, a menos que razões especiais imponham menor entrega e sem prejuízo da segurança que, neste caso, deverá ser convenientemente comprovada.

Os extremos das vigotas, nos apoios dos pavimentos, devem ser solidarizados através de cintas ou de vigas betonadas em conjunto com a camada de betão complementar dos pavimentos.

Os painéis dos pavimentos devem ser limitados lateralmente, segundo a direcção longitudinal das vigotas, por cintas ou por vigas também betonadas em conjunto com a camada de betão complementar dos pavimentos.

As cintas devem ter uma largura igual à largura da parede que encimam e uma altura não inferior a 0,20 m, devendo este valor mínimo da altura ser aumentado no caso de paredes muito espessas, com largura superior a 0,50 m. As cintas devem ser armadas longitudinalmente com, pelo menos, 4 varões de 12 mm de diâmetro quando se utilize aço A235, ou 4 varões de 10 mm de diâmetro quando se utilizem aços A400 ou A500, e transversalmente com estribos de 6 mm de diâmetro espaçados no máximo de 0,20 m. Nas regiões do País de maior sismicidade, recomenda-se a redução deste espaçamento máximo dos estribos para 0,10 a 0,15 m, nas zonas das cintas próximas dos montantes, num comprimento de 0,75 a 1,00 m.

Quando se trate de pavimentos com apoios de encastramento ou continuidade, devem prever-se faixas maciças de betão armado para resistência aos momentos negativos. A betonagem destas faixas faz-se nos intervalos entre vigotas deixados livres pela não colocação de fiadas de blocos de cofragem, convindo que, nos sucessivos intervalos, o número de blocos seja alternado para evitar que a ligação da faixa maciça à zona aligeirada do pavimento se faça em alinhamento reto, mais propício ao aparecimento de fendas ao longo dessa ligação.

A largura das faixas maciças assim como a armadura a utilizar para a resistência aos momentos negativos atuantes deverão ser convenientemente dimensionadas.

Quando se trate de pavimentos dimensionados considerando a existência de apoios simples é recomendável que nos apoios exista uma armadura capaz de absorver os esforços de tração na face superior dos pavimentos resultantes da restrição da rotação dos apoios, que sempre se verificam em condições normais de serviço. A referida armadura deverá ser constituída por varões dispostos na direcção das vigotas, com comprimento mínimo, a partir da face de apoio, igual a 1/10 de vão livre do pavimento, de secção, por metro de largura, não inferior à da armadura de distribuição recomendada e cujos varões integrados na camada de betão complementar deverão ser convenientemente amarrados nas cintas ou nas vigas em que as vigotas se apoiam.

d) Aberturas

A execução de aberturas com a interrupção de vigotas é possível desde que se adotem disposições construtivas especiais como, por exemplo, nervuras transversais devidamente dimensionadas onde as vigotas interrompidas possam ser devidamente apoiadas. A adoção destas disposições deve ser convenientemente justificada.

A execução de aberturas conseguidas pela eliminação de um ou mais blocos de cofragem entre duas vigotas contíguas não necessita, em geral, de verificação de segurança complementar, a menos que essas aberturas possam condicionar a capacidade resistente do pavimento.

e) Ações provenientes de cargas suspensas

Não possuindo os blocos de cofragem resistência suficiente para suportar eventuais ações resultantes de equipamentos ou de instalações a suspender dos tetos, esta suspensão tem de ser assegurada por peças apropriadas, incluídas no pavimento durante a sua execução.

Para tal, poderão ser usadas pequenas lajetas de betão armado apoiadas em duas vigotas contíguas e substituindo blocos de

cofragem, às quais se encontram ligados ganchos de suspensão dos equipamentos a fixar na parte inferior dos pavimentos.

7 ANÁLISE EXPERIMENTAL

Os ensaios realizados no âmbito do presente DA incidiram sobre os componentes prefabricados dos pavimentos – vigotas e blocos de cofragem – e sobre os materiais constituintes das vigotas.

Os ensaios de vigotas, efetuados de acordo com as Especificações LNEC E 437-1995, E 438-1995 e E 440-1995, constaram de:

- verificação das dimensões da secção das vigotas e do posicionamento da armadura;
- determinação do valor da tensão de pré-esforço nas armaduras das vigotas.

Os ensaios de blocos de cofragem consistiram na verificação das suas dimensões, massa e capacidade resistente e foram efetuados de acordo com as Especificações LNEC E 442-1995, E 443-1995 e E 444-1995.

Sobre o betão constituinte das vigotas foi realizado o seguinte ensaio:

- verificação da resistência à compressão.

Os resultados dos ensaios foram globalmente satisfatórios, permitindo comprovar que os componentes pré-fabricados dos pavimentos ensaiados possuem as características definidas em 1.2 e satisfazem às exigências constantes das Normas NP EN 206-1 e NP EN 15037-1 e da Especificação LNEC E 436-1995, aplicáveis respetivamente a betão, a vigotas e a blocos de cofragem. Complementarmente verificou-se a satisfação das exigências relativas a vigotas constantes da Especificação LNEC E 435-2012.

8 VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE

8.1 Constância da qualidade

A entidade produtora deve garantir condições de fabrico que assegurem a constância das características dos componentes

prefabricados do sistema de pavimentos definidas no presente DA, devendo as instalações de fabrico ser dirigidas por técnico de engenharia, devidamente habilitado e responsável pela qualidade do material produzido.

Perante qualquer facto que faça pôr em dúvida a condição essencial da constância da qualidade do material produzido, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil reserva-se o direito de exigir a realização de ensaios de verificação das características dos produtos prefabricados, por conta da empresa produtora dos pavimentos e em condições a definir.

8.2 Ensaios de receção

A concessão do presente DA não constitui garantia da constância da qualidade do material empregado nos pavimentos FAPREL, pelo que deverá a fiscalização decidir, quando necessário, as verificações e a realização de ensaios de receção, os quais se justificam em caso de dúvida sobre a qualidade do material fornecido.

Os ensaios a efetuar, por amostragem, sobre vigotas constarão de:

- verificação das dimensões das vigotas e do posicionamento dos fios (num mínimo de duas vigotas), os quais devem satisfazer aos valores respetivos indicados no Anexo I;
- verificação da tensão de pré-esforço instalada nos fios (num mínimo de duas vigotas), a qual deve satisfazer aos valores indicados no Anexo I.

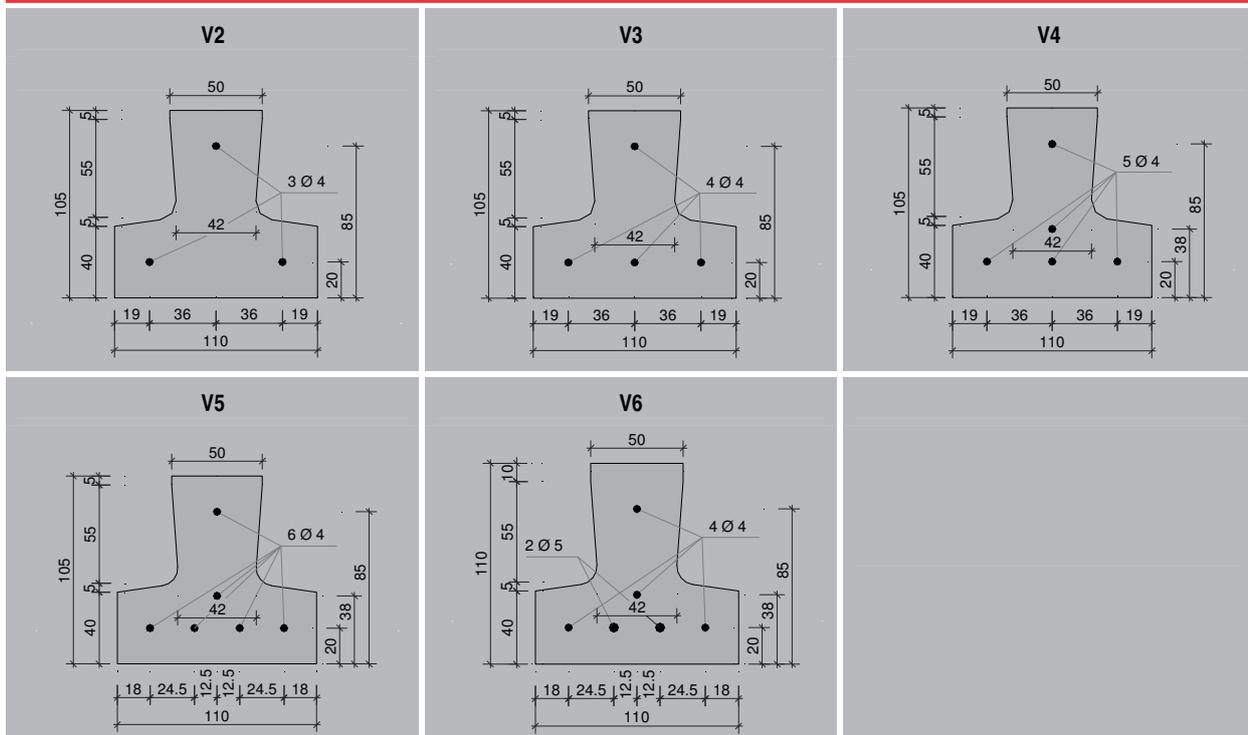
Os ensaios a efetuar, por amostragem, sobre blocos de cofragem constarão de:

- verificação das dimensões e da massa dos blocos (num mínimo de três blocos), as quais devem satisfazer aos valores indicados no Anexo II; a diferença entre as larguras efetivas dos blocos de um mesmo tipo, num mesmo fornecimento, não deve ultrapassar 10 mm;
- verificação da capacidade resistente dos blocos (num mínimo de três blocos), a qual deve satisfazer às condições indicadas na norma EN 15037-2:2009+A1:2011, para blocos não resistentes da classe declarada pelo produtor.

ANEXO I.1 - CARACTERÍSTICAS DAS VIGOTAS

FAPREL

GEOMETRIA TRANSVERSAL



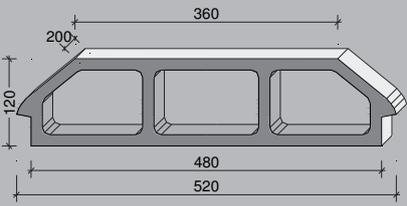
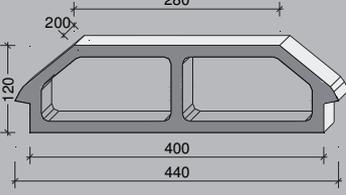
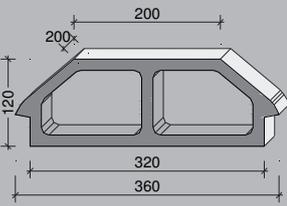
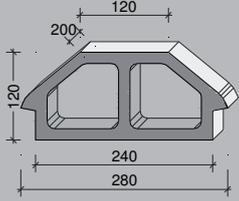
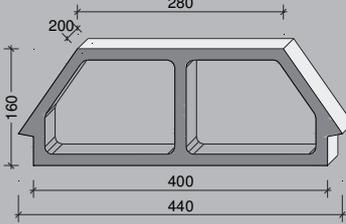
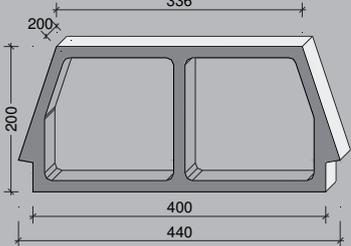
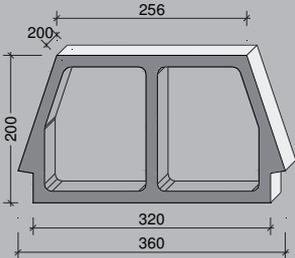
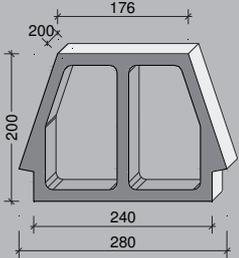
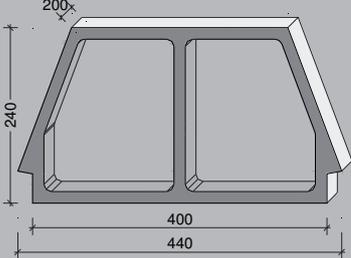
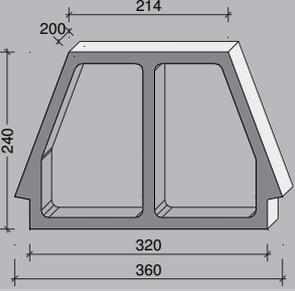
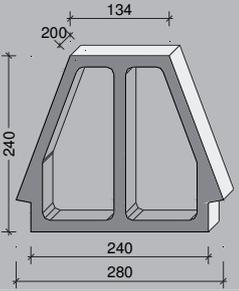
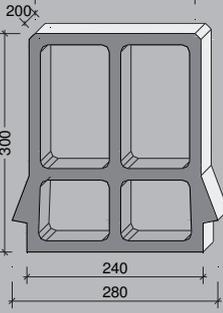
ELEMENTOS DE CÁLCULO

VIGOTA	MASSA kg/m	ARMADURA						f_{ck} (2) MPa	ESFORÇOS			
		NÍVEL	PRÉ-ESFORÇO (1) MPa						ESTADOS LIMITES			
			na origem	28 dias	2 meses	1 ano	tempo infinito		ÚLTIMOS		DE UTILIZAÇÃO	
									M_{Rd} kN.m	V_{Rd} kN	M_o kN.m	EI kN.m ²
V2	18,8	Superior	1150	980	960	900	870	20	2,24	3,56	0,78	238
		Inferior	1250	1060	1030	970	920					
V3	18,9	Superior	1250	1060	1030	980	930	20	2,74	3,56	1,17	239
		Inferior	1250	1010	970	900	850					
V4	18,9	Superior	1250	1040	1000	940	890	21	2,75	3,56	1,37	239
		Médio	1250	990	950	880	830					
		Inferior	1250	980	940	860	810					
V5	19,0	Superior	1250	1040	1010	940	890	27	2,94	3,56	1,69	240
		Médio	1250	960	920	830	790					
		Inferior	1250	930	880	800	750					
V6	19,7	Superior	1250	1050	1020	950	910	34	3,43	3,77	2,20	278
		Médio	1250	920	880	790	740					
		Inferior	1250	880	830	730	680					

(1) Valores médios do pré-esforço nas armaduras das vigotas ao fim dos intervalos de tempo indicados. Estes intervalos são definidos a partir da data de moldagem e correspondem ao pré-esforço na origem acima indicado.

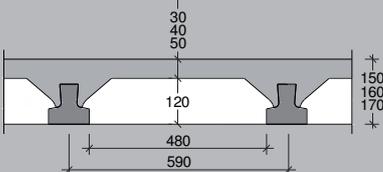
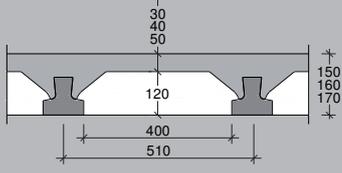
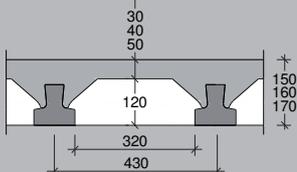
(2) f_{ck} - valor característico da tensão de rotura à compressão do betão das vigotas quando da transmissão do pré-esforço às vigotas, a verificar em ensaios sobre provetes cúbicos de 15 cm de aresta.

GEOMETRIA TRANSVERSAL

<p>BN48x12x20</p>  <p>massa = 8,0 kg</p>	<p>BN40x12x20</p>  <p>massa = 7,0 kg</p>	<p>BN32x12x20</p>  <p>massa = 6,0 kg</p>
<p>BN24x12x20</p>  <p>massa = 5,0 kg</p>	<p>BN40x16x20</p>  <p>massa = 8,0 kg</p>	<p>BN40x20x20</p>  <p>massa = 9,0 kg</p>
<p>BN32x20x20</p>  <p>massa = 7,5 kg</p>	<p>BN24x20x20</p>  <p>massa = 6,5 kg</p>	<p>BN40x24x20</p>  <p>massa = 10,0 kg</p>
<p>BN32x24x20</p>  <p>massa = 8,5 kg</p>	<p>BN24x24x20</p>  <p>massa = 7,5 kg</p>	<p>BN24x30x20</p>  <p>massa = 10,0 kg</p>

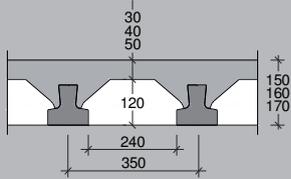
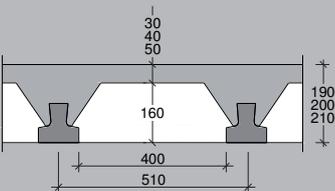
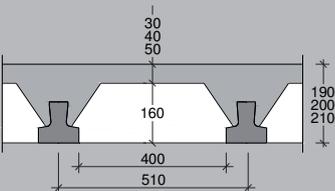
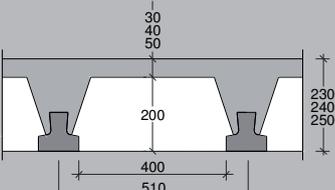
ANEXO III.1 – ELEMENTOS DE CÁLCULO

FAPREL

TIPO DE PAVIMENTO CORTE TRANSVERSAL	ESPESSURA mm		VIGOTA	PESO PRÓPRIO kN/m ²	ESTADOS LIMITES				
	TOTAL	ACIMA DO BLOCO			ÚLTIMOS		DE UTILIZAÇÃO		
					M _{Rd} kNm/m	V _{Rd} kN/m	M _{req} kNm/m	EI kNm ² /m	
V2/V5-BN48x12-15/17 	150	30	V2	2,04	9,1	12,5	4,9	3229	
	160	40	V2	2,28	9,9	13,4	5,5	3949	
	170	50	V2	2,52	10,8	14,4	6,0	4745	
	150	30	V3	2,04	12,6	12,5	7,0	3252	
	160	40	V3	2,28	13,8	13,4	7,8	3977	
	170	50	V3	2,52	14,9	14,4	8,6	4778	
	150	30	V4	2,05	15,5	12,5	8,1	3267	
	160	40	V4	2,29	17,0	13,4	9,0	3995	
	170	50	V4	2,53	18,4	14,4	10,0	4800	
	150	30	V5	2,05	18,9	12,5	9,8	3290	
	160	40	V5	2,29	20,7	13,4	10,9	4024	
	170	50	V5	2,53	22,4	14,4	12,1	4833	
	V2/V5-BN40x12-15/17 	150	30	V2	2,16	10,4	14,4	5,6	3560
		160	40	V2	2,40	11,4	15,5	6,2	4357
		170	50	V2	2,64	12,5	16,6	6,9	5238
150		30	V3	2,16	14,5	14,4	7,9	3585	
160		40	V3	2,40	15,8	15,5	8,8	4388	
170		50	V3	2,64	17,2	16,6	9,8	5275	
150		30	V4	2,17	17,8	14,4	9,2	3601	
160		40	V4	2,41	19,5	15,5	10,2	4408	
170		50	V4	2,65	21,2	16,6	11,3	5298	
150		30	V5	2,17	21,7	14,4	11,1	3626	
160		40	V5	2,41	23,7	15,5	12,4	4439	
170		50	V5	2,65	25,7	16,6	13,7	5335	
V2/V5-BN32x12-15/17 		150	30	V2	2,27	12,3	17,1	6,5	3981
		160	40	V2	2,51	13,5	18,4	7,2	4875
		170	50	V2	2,75	14,7	19,7	8,0	5864
	150	30	V3	2,27	17,1	17,1	9,2	4009	
	160	40	V3	2,51	18,6	18,4	10,2	4909	
	170	50	V3	2,75	20,2	19,7	11,3	5904	
	150	30	V4	2,28	20,9	17,1	10,6	4026	
	160	40	V4	2,52	22,9	18,4	11,9	4930	
	170	50	V4	2,76	24,9	19,7	13,2	5929	
	150	30	V5	2,28	25,3	17,1	12,9	4054	
	160	40	V5	2,52	27,7	18,4	14,4	4964	
	170	50	V5	2,76	30,1	19,7	15,9	5969	

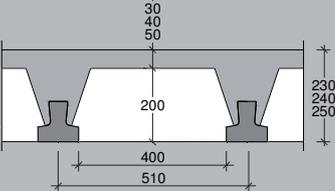
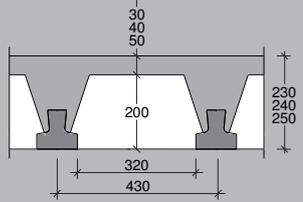
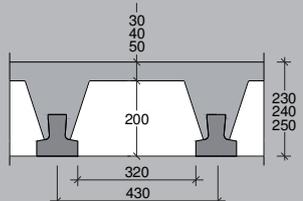
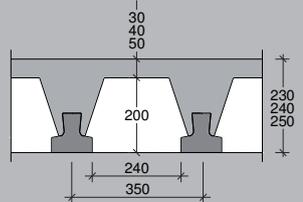
ANEXO III.2 – ELEMENTOS DE CÁLCULO

FAPREL

TIPO DE PAVIMENTO CORTE TRANSVERSAL	ESPESSURA mm		VIGOTA	PESO PRÓPRIO kN/m ²	ESTADOS LIMITES				
	TOTAL	ACIMA DO BLOCO			ÚLTIMOS		DE UTILIZAÇÃO		
					M _{Rd} kNm/m	V _{Rd} kN/m	M _{ick} kNm/m	EI kNm ² /m	
V2/V5-BN24x12-15/17 	150	30	V2	2,48	15,0	21,0	7,7	4538	
	160	40	V2	2,72	16,4	22,6	8,6	5549	
	170	50	V2	2,96	17,9	24,2	9,6	6672	
	150	30	V3	2,49	20,7	21,0	10,9	4569	
	160	40	V3	2,73	22,6	22,6	12,2	5588	
	170	50	V3	2,97	24,6	24,2	13,6	6717	
	150	30	V4	2,50	25,2	21,0	12,7	4587	
	160	40	V4	2,74	27,7	22,6	14,2	5611	
	170	50	V4	2,98	30,1	24,2	15,7	6745	
	150	30	V5	2,51	30,5	21,0	15,4	4619	
	160	40	V5	2,75	33,4	22,6	17,2	5649	
	170	50	V5	2,99	36,3	24,2	19,0	6790	
	V3/V5-BN40x16-19/21 	190	30	V3	2,56	19,9	18,9	11,8	7094
		200	40	V3	2,80	21,2	20,0	12,9	8438
		210	50	V3	3,04	22,5	21,1	13,9	9862
190		30	V4	2,56	24,5	18,9	13,7	7124	
200		40	V4	2,80	26,2	20,0	14,9	8474	
210		50	V4	3,04	27,9	21,1	16,1	9905	
190		30	V5	2,57	29,7	18,9	16,6	7168	
200		40	V5	2,81	31,7	20,0	18,1	8525	
210		50	V5	3,05	33,7	21,1	19,5	9963	
V6-BN40x16-19/21 		190	30	V6	2,57	35,4	18,9	19,7	7217
		200	40	V6	2,81	37,8	20,0	21,4	8584
		210	50	V6	3,05	40,2	21,1	23,1	10032
V3/V5-BN40x20-23/25 	230	30	V3	2,72	25,2	23,3	16,1	11828	
	240	40	V3	2,96	26,6	24,4	17,2	13828	
	250	50	V3	3,20	27,9	25,5	18,2	15864	
	230	30	V4	2,73	31,2	23,3	18,7	11877	
	240	40	V4	2,97	32,9	24,4	19,9	13887	
	250	50	V4	3,21	34,6	25,5	21,2	15932	
	230	30	V5	2,73	37,8	23,3	22,6	11944	
	240	40	V5	2,97	39,8	24,4	24,1	13965	
	250	50	V5	3,21	41,8	25,5	25,6	16020	

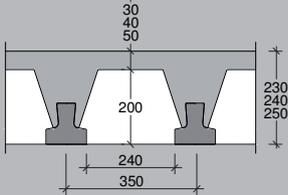
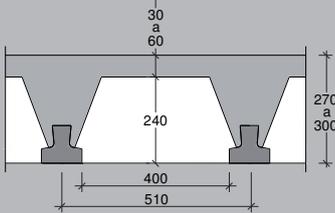
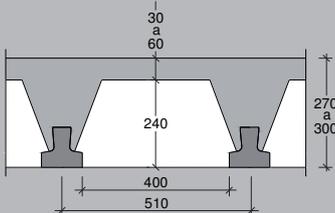
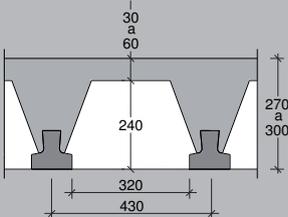
ANEXO III.3 – ELEMENTOS DE CÁLCULO

FAPREL

TIPO DE PAVIMENTO CORTE TRANSVERSAL	ESPESSURA mm		VIGOTA	PESO PRÓPRIO kN/m ²	ESTADOS LIMITES			
	TOTAL	ACIMA DO BLOCO			ÚLTIMOS		DE UTILIZAÇÃO	
					M _{Rd} kNm/m	V _{Rd} kN/m	M _{Req} kNm/m	EI kNm ² /m
V6-BN40x20-23/25 	230	30	V6	2,74	45,0	23,3	26,8	12024
	240	40	V6	2,98	47,4	24,4	28,7	14059
	250	50	V6	3,22	49,8	25,5	30,4	16128
V3/V5-BN32x20-23/25 	230	30	V3	2,92	29,8	27,6	18,7	13219
	240	40	V3	3,16	31,4	28,9	20,0	15443
	250	50	V3	3,40	32,9	30,3	21,3	17723
	230	30	V4	2,92	36,8	27,6	21,7	13273
	240	40	V4	3,16	38,8	28,9	23,3	15507
	250	50	V4	3,40	40,8	30,3	24,7	17798
	230	30	V5	2,93	44,5	27,6	26,3	13348
	240	40	V5	3,17	46,8	28,9	28,1	15593
	250	50	V5	3,41	49,2	30,3	29,9	17895
V6-BN32x20-23/25 	230	30	V6	2,94	53,0	27,6	31,2	13435
	240	40	V6	3,18	55,7	28,9	33,4	15696
	250	50	V6	3,42	58,5	30,3	35,5	18014
V3/V5-BN24x20-23/25 	230	30	V3	3,29	36,3	33,9	22,4	15116
	240	40	V3	3,53	38,3	35,6	24,1	17611
	250	50	V3	3,77	40,2	37,2	25,6	20197
	230	30	V4	3,30	44,8	33,9	26,0	15177
	240	40	V4	3,54	47,2	35,6	27,9	17682
	250	50	V4	3,78	49,7	37,2	29,7	20280
	230	30	V5	3,31	54,1	33,9	31,5	15261
	240	40	V5	3,55	56,9	35,6	33,8	17779
	250	50	V5	3,79	59,9	37,2	36,0	20390

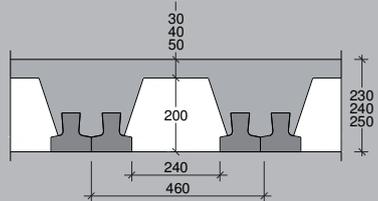
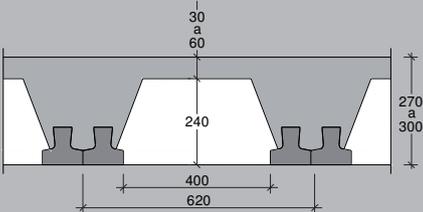
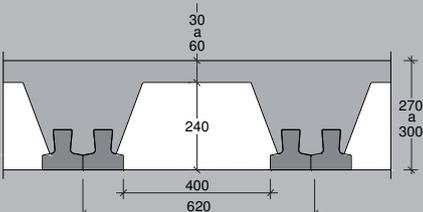
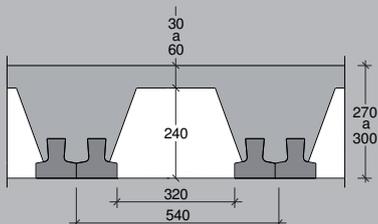
ANEXO III.4 – ELEMENTOS DE CÁLCULO

FAPREL

TIPO DE PAVIMENTO CORTE TRANSVERSAL	ESPESSURA <i>mm</i>		VIGOTA	PESO PRÓPRIO <i>kN/m²</i>	ESTADOS LÍMITES			
	TOTAL	ACIMA DO BLOCO			ÚLTIMOS		DE UTILIZAÇÃO	
					<i>M_{Rd}</i>	<i>V_{Rd}</i>	<i>M_{ick}</i>	<i>E_i</i>
					<i>kNm/m</i>	<i>kN/m</i>	<i>kNm/m</i>	<i>kNm²/m</i>
V6-BN24x20-23/25 	230	30	V6	3,32	64,1	33,9	37,3	15359
	240	40	V6	3,56	67,6	35,6	40,1	17894
	250	50	V6	3,80	71,0	37,2	42,7	20521
V3/V5-BN40x24-27/30 	270	30	V3	3,24	30,6	27,7	20,4	18897
	280	40	V3	3,48	31,9	28,8	21,6	21734
	290	50	V3	3,72	33,3	30,0	22,7	24615
	300	60	V3	3,96	34,6	31,1	23,7	27580
	270	30	V4	3,25	37,9	27,7	23,7	18971
	280	40	V4	3,49	39,6	28,8	25,1	21819
	290	50	V4	3,73	41,3	30,0	26,3	24711
	300	60	V4	3,97	43,0	31,1	27,6	27687
	270	30	V5	3,25	45,8	27,7	28,7	19066
	280	40	V5	3,49	47,8	28,8	30,3	21927
	290	50	V5	3,73	49,8	30,0	31,8	24831
	300	60	V5	3,97	51,8	31,1	33,3	27819
V6-BN40x24-27/30 	270	30	V6	3,26	54,6	27,7	34,1	19184
	280	40	V6	3,50	56,9	28,8	36,1	22063
	290	50	V6	3,74	59,3	30,0	38,0	24984
	300	60	V6	3,98	61,7	31,1	39,8	27990
V3/V5-BN32x24-27/30 	270	30	V3	3,51	36,1	32,9	23,8	21205
	280	40	V3	3,75	37,7	34,2	25,2	24311
	290	50	V3	3,99	39,3	35,5	26,5	27497
	300	60	V3	4,23	40,9	36,8	27,8	30798
	270	30	V4	3,52	44,7	32,9	27,7	21287
	280	40	V4	3,76	46,7	34,2	29,3	24406
	290	50	V4	4,00	48,7	35,5	30,8	27603
	300	60	V4	4,24	50,7	36,8	32,3	30916
	270	30	V5	3,53	54,0	32,9	33,4	21394
	280	40	V5	3,77	56,4	34,2	35,4	24526
	290	50	V5	4,01	58,7	35,5	37,2	27737
	300	60	V5	4,25	61,1	36,8	39,0	31062

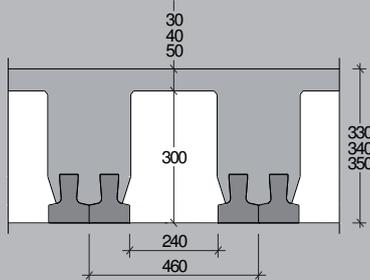
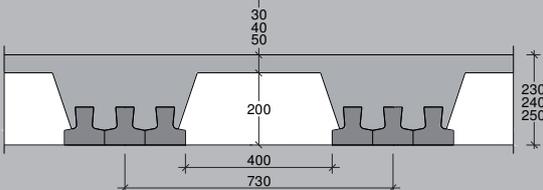
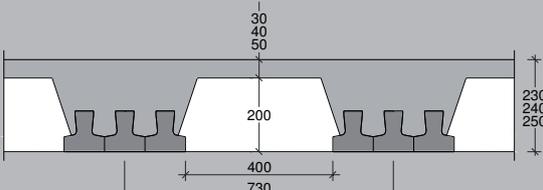
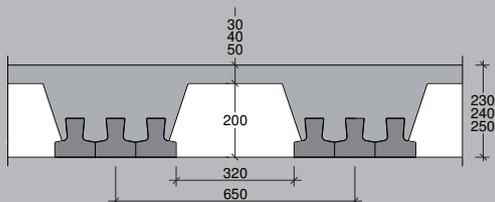
ANEXO III.8 – ELEMENTOS DE CÁLCULO

FAPREL

TIPO DE PAVIMENTO CORTE TRANSVERSAL	ESPESSURA <i>mm</i>		VIGOTA	PESO PRÓPRIO <i>kN/m²</i>	ESTADOS LIMITES			
	TOTAL	ACIMA DO BLOCO			ÚLTIMOS		DE UTILIZAÇÃO	
					<i>M_{Rid}</i> <i>kNm/m</i>	<i>V_{Rid}</i> <i>kN/m</i>	<i>M_{Uck}</i> <i>kNm/m</i>	<i>EI</i> <i>kNm²/m</i>
2V6-BN24x20-23/25 	230	30	V6	3,88	90,9	60,8	53,5	20204
	240	40	V6	4,12	97,9	63,7	57,7	23458
	250	50	V6	4,36	104,1	66,6	61,7	26883
2V3/2V5-BN40x24-27/30 	270	30	V3	3,83	49,6	54,3	31,9	26243
	280	40	V3	4,07	51,8	56,4	33,9	30109
	290	50	V3	4,31	54,0	58,6	35,7	34092
	300	60	V3	4,55	56,2	60,8	37,5	38223
	270	30	V4	3,84	61,4	54,3	37,0	26337
	280	40	V4	4,08	64,0	56,4	39,3	30218
	290	50	V4	4,32	66,8	58,6	41,5	34215
	300	60	V4	4,56	69,5	60,8	43,5	38361
	270	30	V5	3,85	73,8	54,3	44,7	26463
	280	40	V5	4,09	77,0	56,4	47,5	30359
	290	50	V5	4,33	80,3	58,6	50,1	34373
	300	60	V5	4,57	83,6	60,8	52,6	38535
2V6-BN40x24-27/30 	270	30	V6	3,86	87,4	54,5	53,2	26613
	280	40	V6	4,10	91,4	56,7	56,5	30532
	290	50	V6	4,34	95,2	58,9	59,7	34568
	300	60	V6	4,58	99,2	61,1	62,7	38753
2V3/2V5-BN32x24-27/30 	270	30	V3	4,14	56,7	62,3	36,0	28799
	280	40	V3	4,38	59,2	64,8	38,2	32893
	290	50	V3	4,62	61,7	67,3	40,4	37146
	300	60	V3	4,86	64,2	69,8	42,4	41585
	270	30	V4	4,15	70,0	62,3	41,8	28902
	280	40	V4	4,39	73,0	64,8	44,4	33010
	290	50	V4	4,63	76,2	67,3	46,9	37279
	300	60	V4	4,87	79,4	69,8	49,3	41733
	270	30	V5	4,15	84,0	62,3	50,5	29039
	280	40	V5	4,39	87,8	64,8	53,7	33164
	290	50	V5	4,63	91,5	67,3	56,7	37450
	300	60	V5	4,87	95,3	69,8	59,6	41922

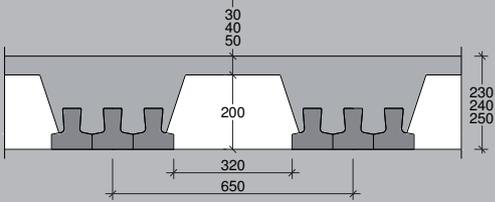
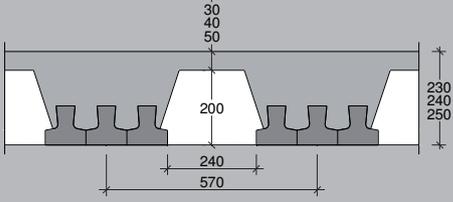
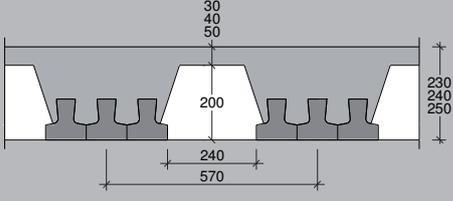
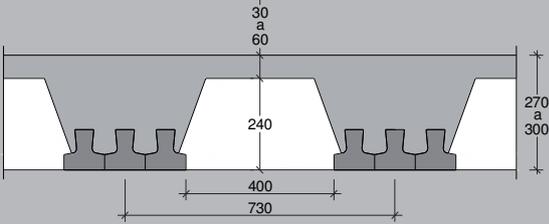
ANEXO III.10 – ELEMENTOS DE CÁLCULO

FAPREL

TIPO DE PAVIMENTO CORTE TRANSVERSAL	ESPESSURA mm		VIGOTA	PESO PRÓPRIO kN/m ²	ESTADOS LIMITES			
	TOTAL	ACIMA DO BLOCO			ÚLTIMOS		DE UTILIZAÇÃO	
					M _{Rd} kNm/m	V _{Rd} kN/m	M _{ctk} kNm/m	EI kNm ² /m
2V6-BN24x30-33/35 	330	30	V6	5,31	145,3	91,1	92,9	54974
	340	40	V6	5,55	152,0	94,1	97,9	62088
	350	50	V6	5,79	157,5	97,0	102,6	69367
3V3/3V5-BN40x20-23/25 	230	30	V3	3,59	51,4	57,1	30,7	19169
	240	40	V3	3,83	54,1	59,8	33,1	22363
	250	50	V3	4,07	56,9	62,6	35,3	25706
	230	30	V4	3,60	63,0	57,1	35,6	19237
	240	40	V4	3,84	66,5	59,8	38,4	22444
	250	50	V4	4,08	70,0	62,6	41,0	25799
	230	30	V5	3,61	75,2	57,1	43,0	19335
	240	40	V5	3,85	79,7	59,8	46,4	22557
	250	50	V5	4,09	83,9	62,6	49,6	25927
3V6-BN40x20-23/25 	230	30	V6	3,62	86,7	57,5	51,0	19446
	240	40	V6	3,86	93,5	60,2	55,0	22687
	250	50	V6	4,10	99,0	63,0	58,8	26077
3V3/3V5-BN32x20-23/25 	230	30	V3	3,83	57,3	64,2	33,9	20652
	240	40	V3	4,07	60,4	67,2	36,5	24003
	250	50	V3	4,31	63,5	70,3	39,0	27534
	230	30	V4	3,84	69,9	64,2	39,3	20724
	240	40	V4	4,08	74,0	67,2	42,4	24088
	250	50	V4	4,32	77,9	70,3	45,3	27632
	230	30	V5	3,85	82,5	64,2	47,5	20829
	240	40	V5	4,09	88,4	67,2	51,2	24209
	250	50	V5	4,33	93,2	70,3	54,8	27769

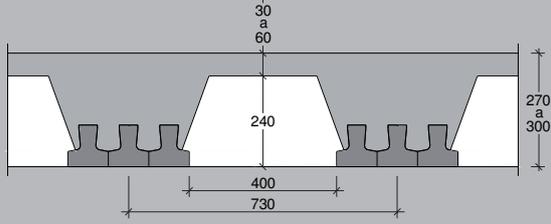
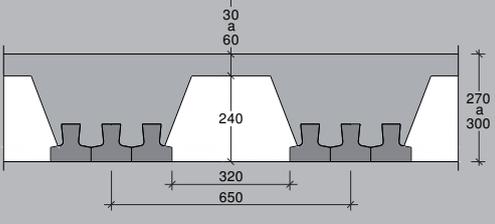
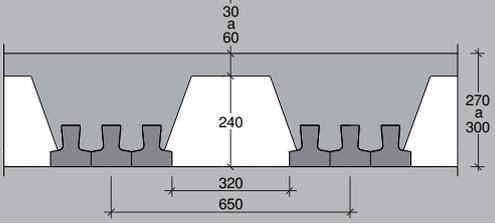
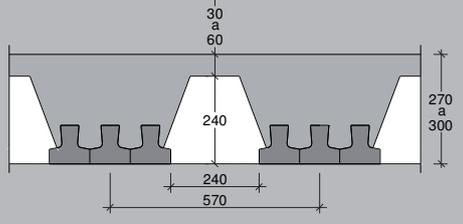
ANEXO III.11 – ELEMENTOS DE CÁLCULO

FAPREL

TIPO DE PAVIMENTO CORTE TRANSVERSAL	ESPESSURA mm		VIGOTA	PESO PRÓPRIO kN/m ²	ESTADOS LÍMITES			
	TOTAL	ACIMA DO BLOCO			ÚLTIMOS		DE UTILIZAÇÃO	
					M _{Rd} kNm/m	V _{Rd} kN/m	M _{Req} kNm/m	EI kNm ² /m
3V6-BN32x20-23/25 	230	30	V6	3,86	95,0	64,6	56,2	20948
	240	40	V6	4,10	102,4	67,7	60,7	24348
	250	50	V6	4,34	109,2	70,7	65,0	27928
3V3/3V5-BN24x20-23/25 	230	30	V3	4,19	64,6	73,2	37,9	22498
	240	40	V3	4,43	68,2	76,6	40,8	26020
	250	50	V3	4,67	71,8	80,1	43,7	29759
	230	30	V4	4,20	78,4	73,2	43,9	22575
	240	40	V4	4,44	83,3	76,6	47,4	26111
	250	50	V4	4,68	87,8	80,1	50,7	29863
	230	30	V5	4,21	91,7	73,2	53,1	22690
	240	40	V5	4,45	98,4	76,6	57,2	26241
	250	50	V5	4,69	104,6	80,1	61,3	30010
3V6-BN24x20-23/25 	230	30	V6	4,23	105,4	73,6	62,8	22819
	240	40	V6	4,47	113,5	77,1	67,8	26390
	250	50	V6	4,71	121,1	80,7	72,6	30180
3V3/3V5-BN40x24-27/30 	270	30	V3	4,25	62,7	68,9	39,4	30649
	280	40	V3	4,49	65,4	71,7	41,9	35030
	290	50	V3	4,73	68,2	74,4	44,3	39586
	300	60	V3	4,97	71,0	77,2	46,6	44342
	270	30	V4	4,26	77,1	68,9	45,8	30756
	280	40	V4	4,50	80,6	71,7	48,7	35152
	290	50	V4	4,74	84,1	74,4	51,4	39724
	300	60	V4	4,98	87,6	77,2	54,1	44495
	270	30	V5	4,27	92,3	68,9	55,3	30899
	280	40	V5	4,51	96,7	71,7	58,8	35313
	290	50	V5	4,75	100,8	74,4	62,2	39903
	300	60	V5	4,99	105,0	77,2	65,4	44693

ANEXO III.12 – ELEMENTOS DE CÁLCULO

FAPREL

TIPO DE PAVIMENTO CORTE TRANSVERSAL	ESPESSURA <i>mm</i>		VIGOTA	PESO PRÓPRIO <i>kN/m²</i>	ESTADOS LIMITE			
	TOTAL	ACIMA DO BLOCO			ÚLTIMOS		DE UTILIZAÇÃO	
					<i>M_{Rd}</i> <i>kNm/m</i>	<i>V_{Rd}</i> <i>kN/m</i>	<i>M_{ick}</i> <i>kNm/m</i>	<i>E_i</i> <i>kNm²/m</i>
3V6-BN40x24-27/30 	270	30	V6	4,28	108,0	69,3	65,7	31068
	280	40	V6	4,52	114,1	72,1	69,9	35506
	290	50	V6	4,76	119,1	74,9	73,9	40121
	300	60	V6	5,00	124,1	77,7	77,9	44937
3V3/3V5-BN32x24-27/30 	270	30	V3	4,55	69,9	77,4	43,6	33165
	280	40	V3	4,79	73,0	80,5	46,4	37733
	290	50	V3	5,03	76,2	83,6	49,0	42515
	300	60	V3	5,27	79,3	86,7	51,6	47534
	270	30	V4	4,56	85,9	77,4	50,6	33279
	280	40	V4	4,80	89,8	80,5	53,8	37863
	290	50	V4	5,04	93,7	83,6	56,9	42661
	300	60	V4	5,28	97,7	86,7	59,9	47697
	270	30	V5	4,57	102,4	77,4	61,2	33434
	280	40	V5	4,81	107,5	80,5	65,1	38036
	290	50	V5	5,05	112,2	83,6	68,8	42853
	300	60	V5	5,29	117,0	86,7	72,4	47908
3V6-BN32x24-27/30 	270	30	V6	4,58	118,8	77,9	72,6	33617
	280	40	V6	4,82	126,3	81,0	77,3	38243
	290	50	V6	5,06	132,3	84,1	81,8	43086
	300	60	V6	5,30	137,9	87,2	86,2	48167
3V3/3V5-BN24x24-27/30 	270	30	V3	5,02	79,1	88,2	48,9	36323
	280	40	V3	5,26	82,7	91,8	52,0	41092
	290	50	V3	5,50	86,2	95,3	54,9	46121
	300	60	V3	5,74	89,9	98,8	57,9	51429
	270	30	V4	5,03	96,7	88,2	56,8	36448
	280	40	V4	5,27	101,4	91,8	60,3	41232
	290	50	V4	5,51	105,9	95,3	63,8	46278
	300	60	V4	5,75	110,4	98,8	67,2	51603
	270	30	V5	5,04	114,8	88,2	68,6	36618
	280	40	V5	5,28	121,0	91,8	72,9	41421
	290	50	V5	5,52	126,5	95,3	77,1	46486
	300	60	V5	5,76	131,9	98,8	81,2	51831

ANEXO IV.1 – ELEMENTOS DE MEDIÇÃO

FAPREL

TIPO	ESPESSURA DA LAJE <i>mm</i>	QUANTIDADES POR M ²			VIGOTA	ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO <i>mm²/m</i>		
		VIGOTAS <i>m</i>	BLOCOS <i>un</i>	BETÃO <i>l</i>		A235	A400	A500
V2/V5-BN48x12-15/17	150	1,69	8,47	43,2	V2	86	50	40
	160			53,2	V3	114	67	54
	170			63,2	V4	143	84	67
					V5	171	101	81
V2/V5-BN40x12-15/17	150	1,96	9,80	45,4	V2	99	58	47
	160			55,4	V3	132	78	62
	170			65,4	V4	165	97	78
					V5	198	116	93
V2/V5-BN32x12-15/17	150	2,33	11,63	48,4	V2	118	69	55
	160			58,4	V3	157	92	74
	170			68,4	V4	196	115	92
					V5	235	138	110
V2/V5-BN24x12-15/17	150	2,86	14,29	52,3	V2	144	85	68
	160			62,3	V3	193	113	90
	170			72,3	V4	241	141	113
					V5	289	170	136
V3/V5-BN40x16-19/21	190	1,96	9,80	58,5	V3	132	78	62
	200			68,5	V4	165	97	78
	210			78,5	V5	198	116	93
V6-BN40x16-19/21	190	1,96	9,80	58,0	V6	235	138	111
	200			68,0				
	210			78,0				
V3/V5-BN40x20-23/25	230	1,96	9,80	61,7	V3	132	78	62
	240			71,7	V4	165	97	78
	250			81,7	V5	198	116	93
V6-BN40x20-23/25	230	1,96	9,80	61,2	V6	235	138	111
	240			71,2				
	250			81,2				
V3/V5-BN32x20-23/25	230	2,33	11,63	67,6	V3	157	92	74
	240			77,6	V4	196	115	92
	250			87,6	V5	235	138	110
V6-BN32x20-23/25	230	2,33	11,63	67,0	V6	279	164	131
	240			77,0				
	250			87,0				
V3/V5-BN24x20-23/25	230	2,86	14,29	76,2	V3	193	113	90
	240			86,2	V4	241	141	113
	250			96,2	V5	289	170	136

ANEXO IV.2 – ELEMENTOS DE MEDIÇÃO

FAPREL

TIPO	ESPESSURA DA LAJE <i>mm</i>	QUANTIDADES POR M ²			VIGOTA	ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO <i>mm²/m</i>		
		VIGOTAS <i>m</i>	BLOCOS <i>un</i>	BETÃO <i>l</i>		A235	A400	A500
V6-BN24x20-23/25	230	2,86	14,29	75,5	V6	343	201	161
	240			85,5				
	250			95,5				
V3/V5-BN40x24-27/30	270	1,96	9,80	79,4	V3	132	78	62
	280			89,4	V4	165	97	78
	290			99,4	V5	198	116	93
	300			109,4				
V6-BN40x24-27/30	270	1,96	9,80	78,9	V6	235	138	111
	280			88,9				
	290			98,9				
	300			108,9				
V3/V5-BN32x24-27/30	270	2,33	11,63	88,6	V3	157	92	74
	280			98,6	V4	196	115	92
	290			108,6	V5	235	138	110
	300			118,6				
V6-BN32x24-27/30	270	2,33	11,63	88,0	V6	279	164	131
	280			98,0				
	290			108,0				
	300			118,0				
V3/V5-BN24x24-27/30	270	2,86	14,29	101,9	V3	193	113	90
	280			111,9	V4	241	141	113
	290			121,9	V5	289	170	136
	300			131,9				
V6-BN24x24-27/30	270	2,86	14,29	101,2	V6	343	201	161
	280			111,2				
	290			121,2				
	300			131,2				
V3/V5-BN24x30-33/35	330	2,86	14,29	102,9	V3	193	113	90
	340			112,9	V4	241	141	113
	350			122,9	V5	289	170	136
V6-BN24x30-33/35	330	2,86	14,29	102,2	V6	343	201	161
	340			112,2				
	350			122,2				

ANEXO IV.3 – ELEMENTOS DE MEDIÇÃO

FAPREL

TIPO	ESPESSURA DA LAJE <i>mm</i>	QUANTIDADES POR M ²			VIGOTA	ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO <i>mm²/m</i>		
		VIGOTAS <i>m</i>	BLOCOS <i>un</i>	BETÃO <i>l</i>		A235	A400	A500
2V3/2V5-BN40x16-19/21	190	3,23	8,06	69,6	V3	217	128	102
	200			79,6	V4	272	160	128
	210			89,6	V5	326	192	153
2V6-BN40x16-19/21	190	3,23	8,06	68,8	V6	387	227	182
	200			78,8				
	210			88,8				
2V3/2V5-BN40x20-23/25	230	3,23	8,06	79,3	V3	217	128	102
	240			89,3	V4	272	160	128
	250			99,3	V5	326	192	153
2V6-BN40x20-23/25	230	3,23	8,06	78,5	V6	387	227	182
	240			88,5				
	250			98,5				
2V3/2V5-BN32x20-23/25	230	3,70	9,26	86,6	V3	250	147	117
	240			96,6	V4	312	183	147
	250			106,6	V5	374	220	176
2V6-BN32x20-23/25	230	3,70	9,26	85,7	V6	445	261	209
	240			95,7				
	250			105,7				
2V3/2V5-BN24x20-23/25	230	4,35	10,87	96,5	V3	293	172	138
	240			106,5	V4	366	215	172
	250			116,5	V5	439	258	207
2V6-BN24x20-23/25	230	4,35	10,87	95,4	V6	522	307	245
	240			105,4				
	250			115,4				
2V3/2V5-BN40x24-27/30	270	3,23	8,06	100,9	V3	217	128	102
	280			110,9	V4	272	160	128
	290			120,9	V5	326	192	153
	300			130,9				
2V6-BN40x24-27/30	270	3,23	8,06	100,1	V6	387	227	182
	280			110,1				
	290			120,1				
	300			130,1				
2V3/2V5-BN32x24-27/30	270	3,70	9,26	111,4	V3	250	147	117
	280			121,4	V4	312	183	147
	290			131,4	V5	374	220	176
	300			141,4				

TIPO	ESPESSURA DA LAJE <i>mm</i>	QUANTIDADES POR M ²			VIGOTA	ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO <i>mm²/m</i>		
		VIGOTAS <i>m</i>	BLOCOS <i>un</i>	BETÃO <i>l</i>		A235	A400	A500
2V6-BN32x24-27/30	270	3,70	9,26	110,5	V6	445	261	209
	280			120,5				
	290			130,5				
	300			140,5				
2V3/2V5-BN24x24-27/30	270	4,35	10,87	125,6	V3	293	172	138
	280			135,6	V4	366	215	172
	290			145,6	V5	439	258	207
	300			155,6				
2V6-BN24x24-27/30	270	4,35	10,87	124,5	V6	522	307	245
	280			134,5				
	290			144,5				
	300			154,5				
2V3/2V5-BN24x30-33/35	330	4,35	10,87	140,7	V3	293	172	138
	340			150,7	V4	366	215	172
	350			160,7	V5	439	258	207
2V6-BN24x30-33/35	330	4,35	10,87	139,6	V6	522	307	245
	340			149,6				
	350			159,6				
3V3/3V5-BN40x20-23/25	230	4,11	6,85	91,6	V3	277	163	130
	240			101,6	V4	346	203	163
	250			111,6	V5	415	244	195
3V6-BN40x20-23/25	230	4,11	6,85	90,6	V6	493	290	232
	240			100,6				
	250			110,6				
3V3/3V5-BN32x20-23/25	230	4,62	7,69	99,2	V3	311	183	146
	240			109,2	V4	389	228	183
	250			119,2	V5	467	274	219
3V6-BN32x20-23/25	230	4,62	7,69	98,0	V6	554	325	260
	240			108,0				
	250			118,0				
3V3/3V5-BN24x20-23/25	230	5,26	8,77	108,9	V3	355	208	167
	240			118,9	V4	443	260	208
	250			128,9	V5	532	313	250

ANEXO IV.5 – ELEMENTOS DE MEDIÇÃO

FAPREL

TIPO	ESPESSURA DA LAJE <i>mm</i>	QUANTIDADES POR M ²			VIGOTA	ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO <i>mm²/m</i>		
		VIGOTAS <i>m</i>	BLOCOS <i>un</i>	BETÃO <i>l</i>		A235	A400	A500
3V6-BN24x20-23/25	230	5,26	8,77	107,6	V6	632	371	297
	240			117,6				
	250			127,6				
3V3/3V5-BN40x24-27/30	270	4,11	6,85	116,0	V3	277	163	130
	280			126,0	V4	346	203	163
	290			136,0	V5	415	244	195
	300			146,0				
3V6-BN40x24-27/30	270	4,11	6,85	115,0	V6	493	290	232
	280			125,0				
	290			135,0				
	300			145,0				
3V3/3V5-BN32x24-27/30	270	4,62	7,69	126,6	V3	311	183	146
	280			136,6	V4	389	228	183
	290			146,6	V5	467	274	219
	300			156,6				
3V6-BN32x24-27/30	270	4,62	7,69	125,4	V6	554	325	260
	280			135,4				
	290			145,4				
	300			155,4				
3V3/3V5-BN24x24-27/30	270	5,26	8,77	140,1	V3	355	208	167
	280			150,1	V4	443	260	208
	290			160,1	V5	532	313	250
	300			170,1				
3V6-BN24x24-27/30	270	5,26	8,77	138,8	V6	632	371	297
	280			148,8				
	290			158,8				
	300			168,8				
3V3/3V5-BN24x30-33/35	330	5,26	8,77	163,9	V3	355	208	167
	340			173,9	V4	443	260	208
	350			183,9	V5	532	313	250
3V6-BN24x30-33/35	330	5,26	8,77	162,5	V6	632	371	297
	340			172,5				
	350			182,5				

Descritores: Pavimento prefabricado aligeirado / Pavimento com vigotas / Pavimento de betão / Betão pré-esforçado / Pavimento de edifício / Documento de aplicação

Descriptors: Precast floor / Beam floor / Concrete floor / Prestress concrete / Building floor / Application document

