

Dimensionamento de estruturas de betão reforçado com fibras de aço  
Joaquim Barros, Pierre Rossi, Bruno Massicotte (Eds.)  
DEC-UM, Portugal 28/11/2003

## JUNTAS EM PAVIMENTOS DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS JOINTS IN PAVEMENTS OF INDUSTRIAL BUILDINGS

Alexandre Antunes<sup>1</sup>, Joaquim Barros<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aluno de Mestrado do Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil da Escola de Eng<sup>a</sup> da Universidade do Minho

<sup>2</sup>Prof. Auxiliar do Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil da Escola de Eng<sup>a</sup> da Universidade do Minho

**Resumo:** *Os pavimentos de edifícios industriais são das obras de engenharia civil em que ocorrem maior número de patologias. Tal deve-se a deficiente empenho dos intervenientes na concepção, projecto e construção deste tipo de estruturas, muitas vezes associado ao sentimento de que a não verificação dos estados limites de utilização e últimos não está directamente ligado à ocorrência de acidentes trágicos. Porém, é reconhecido que, em muitos casos, o deficiente funcionamento deste tipo de estruturas conduz a prejuízos económicos significativos e, por vezes, a acidentes envolvendo seres humanos.*

*De entre as patologias ocorridas em pavimentos industriais, as devidas directa ou indirectamente com juntas, são as mais correntes. Um deficiente traçado de juntas pode conduzir, em caso limite, à inutilização do pavimento, sendo a reabilitação deste bastante onerosa.*

*Este trabalho é dedicado à temática das juntas em pavimentos de edifícios industriais, desde a sua concepção, traçado até ao dimensionamento de elementos de transferência de carga entre painéis adjacentes à junta.*

**Palavras-chave:** *Pavimentos industriais, Juntas, Dessolidarização, Controlo da Fendilhação, Dilatação, Ferrolhos*

**Abstract:** *Pavements of industrial floors are one of the Civil Engineering realizations where higher number of pathologies occurred. This is caused by the deficient attitude of the intervenients in the conception, design, execution and quality control of this type of structural application. This behavior is related to the idea that a tragic accident will not occur even if the serviceability and ultimate limit analysis are not accomplished in the design practice. In several cases, however, a pavement with deficient operation leads to significant economical loses, and, sometimes to human injuries.*

*Amongst the pathologies of the industrial pavements, the ones related directly or indirectly to the joints are the most current. A deficient joint design, in limit, can unutilize the pavement functionality, being its rehabilitation too expensive.*

*This work is concerned to the joints in industrial pavements, since its conception, up to the design of elements to increase the load transfer between joint-adjacent panels.*

**Keywords:** *Industrial pavements, joints, disconnect, crack control, expansion, dowels*

## 1. INTRODUÇÃO

Devido aos danos associados a juntas mal concebidas e deficientemente executadas, a construção de pavimentos sem juntas é objectivo perseguido por vários projectistas, investigadores e aplicadores. Nesse sentido, realça-se a utilização de cimentos autocompensáveis e pré-esforço. No entanto, a utilização destes materiais e tecnologias é ainda de domínio reduzido e mobilizam pessoal com grau de qualificação e equipamento com nível de sofisticação não correntes neste tipo de aplicação. Por este motivo o esquadramento do pavimento num conjunto de painéis por intermédio da execução de juntas continua a ser prática corrente no nosso País, pelo que, para evitar os danos que lhe são geralmente imputados, urge utilizar boas práticas de concepção, projecto e execução.

## 2. PORQUE SE CONSTROEM JUNTAS NUM PAVIMENTO INDUSTRIAL

As juntas são um elemento construtivo que devem permitir os movimentos de retracção e dilatação do pavimento por forma a que, em qualquer ponto do pavimento, a tensão máxima de tracção não ultrapasse a resistência à tracção do betão. Além disto, a concepção deste elemento deve promover uma adequada transferência de carga entre placas contíguas do pavimento e garantir que não ocorram danos nas arestas das faces da junta nem diferenças significativas de cota entre estas arestas [1]. É também necessário realizar juntas por forma a isolar o pavimento dos restantes elementos estruturais.

Sendo o betão um material cuja resistência à tracção é cerca de um décimo da sua resistência à compressão, impedimentos ao livre movimento do pavimento introduzem tensões de tracção no betão superiores à sua tensão resistente, ocorrendo assim fendilhação descontrolada, o que pode comprometer, de forma definitiva, a operacionalidade do pavimento. Os custos associados a uma reparação deste tipo de patologias são, geralmente, muito elevados sendo por vezes mais vantajoso a execução de uma sobrecamada sobre o pavimento existente.

Assim, o projectista deve atender ao facto de que, para evitar estes problemas (ver Figura 1), o projecto de um pavimento deve contemplar os necessários elementos de dimensionamento, as especificações dos materiais a utilizar e os pormenores construtivos a executar. As juntas estão entre esses elementos.

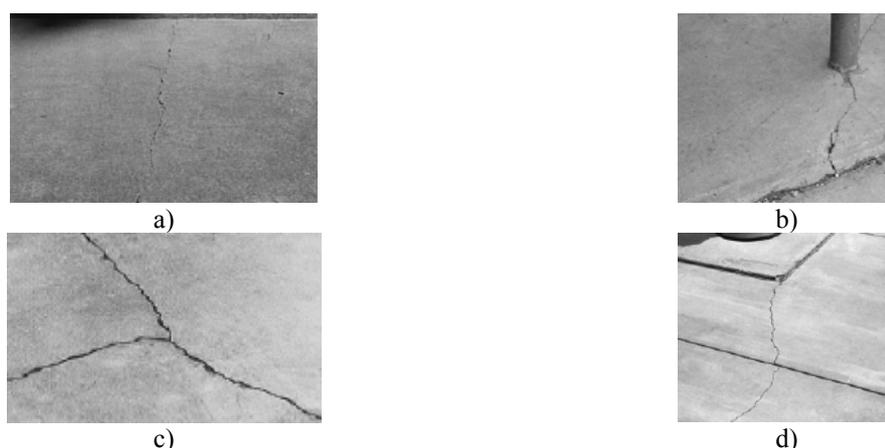


Figura 1. Tipos mais frequentes de fendas: a) retracção plástica; b) deficiente construção da junta de dessolidarização; c) deficiente dimensionamento/construção da sub-base e/ou do pavimento; d) inadequado traçado da junta

## 2.1 Fendilhação devido à retracção

Segundo COUTINHO [2], a retracção do betão é um fenómeno influenciado por diversos factores, podendo ser enumerados, pelo seu grau de influência, da seguinte forma: dimensões da peça de betão; razão água-ligante; dosagem de cimento; natureza e granulometria dos agregados; duração do período inicial de cura; humidade do meio-ambiente; composição do cimento; etc. Num pavimento industrial os dois primeiros factores assumem especial relevância. Com efeito, um pavimento é uma estrutura laminar com elevada área em contacto com o meio-ambiente, o que potencializa as trocas de água entre o betão e o ar. Como durante as primeiras 24 horas o betão só tem a coesão resultante das tensões capilares do ligante [2], neste período, se a taxa de exsudação do betão for inferior à taxa de evaporação da água, ocorrerá retracção de intensidade suficiente para enfraquecer as ligações entre os constituintes do betão o que, durante a fase de cura do betão, degenera em micro-fendas e potencializa a sua posterior degeneração em macro-fendas. Por seu lado, exigências ao nível da trabalhabilidade do betão fazem com que, para a sua aplicação num pavimento industrial, seja em média necessário um valor do abaixamento (*slump*) da ordem dos 15 cm (transição entre as classes S3 e S4). Mesmo que tal se obtenha com o recurso a aditivos, dificilmente não continuará a existir uma razão água-ligante superior àquela que seria suficiente para a adequada hidratação do ligante. Com o decorrer do processo de cura do betão, o excesso de água vai sendo libertado para a atmosfera estando as velocidades da troca de água entre o pavimento e o ar dependente de aspectos como a espessura do pavimento e a humidade e velocidade do ar. Dá-se assim uma variação das dimensões do pavimento, ou seja, ocorre retracção.

Estas variações das dimensões do pavimento, devidas ao fenómeno da retracção, são contrariadas por diversos aspectos. Assim, essa restrição de movimentos cria tensões internas no material que acabam por superar a sua própria resistência, fazendo assim com que ocorra fendilhação.

## 2.2 Fendilhação devido à variação da temperatura e humidade

Quando as condições de humidade e de temperatura nas superfícies superior e inferior do pavimento são distintas, ocorre um gradiente de deformações ao longo da espessura do pavimento que conduz, geralmente, a movimentos ascensionais diferenciais do pavimento. Quando a superfície superior do pavimento se encontra mais fria e mais seca que a superfície inferior do mesmo, ocorre um fenómeno conhecido na terminologia inglesa por *curling*, ou seja, a laje empena fazendo com que os seus bordos levantem (ver Figura 2a). O inverso verifica-se quando, comparativamente à superfície inferior, a superfície superior do pavimento está mais quente e mais húmida (ver Figura 2b). Este fenómeno evidencia-se nos primeiros meses de vida do pavimento, ou mesmo dias, podendo o mesmo, no entanto, prolongar-se por um longo período de tempo.



Figura 2. Deformação da laje devido a variações de temperatura e de humidade - *curling*: a) levantamento dos cantos da laje; b) levantamento do centro da laje

O fenómeno do *curling* é contrariado pelo peso próprio da laje, pelo que nas zonas sem apoio desenvolvem-se tensões de tracção na face superior e de compressão na face inferior [3]. Se para além do peso próprio, estas zonas forem solicitadas por outro tipo de cargas (estáticas ou móveis) que em conjunto induzam tensões de tracção superiores à que o material resiste, geram-se superfícies de rotura nessas zonas.

A possibilidade de ocorrência de *curling* aumenta com a diminuição da espessura do pavimento, com o aumento da distância entre juntas de controlo da fendilhação, com a diminuição da eficácia de transferência de carga entre painéis adjacentes e com processos inadequados de cura do betão [4].

## 2.3 Fendilhação devido a acções impostas no pavimento

As sobrecargas, estáticas e/ou móveis, são as acções que geralmente condicionam o dimensionamento de um pavimento de um edifício industrial. O peso próprio e as deformações devidas a assentamentos diferenciais são ainda acções a serem consideradas no dimensionamento do pavimento. As tipologias de juntas tratadas no presente trabalho não evita a fendilhação devida a este tipo de acções pelo que, para a evitar, o pavimento deve ser dimensionado por forma a que, sob as combinações mais desfavoráveis de acções, os máximos esforços actuantes sejam inferiores aos esforços resistentes. Além disto, é necessário verificar que, para a combinação das acções correspondente à verificação de abertura máxima de fenda, esta não seja superior à permitida pela regulamentação em vigor. Este assunto não é tratado no presente trabalho, devendo o leitor consultar publicações mais específicas [3].

### 3. TIPOS DE JUNTAS E SEUS PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Num pavimento podem existir os seguintes tipos de juntas: juntas de dessolidarização (ou expansão); juntas de construção; juntas de dilatação; e juntas de controlo da fendilhação (ou serradas). Apesar de terem objectivos e processos construtivos distintos, os três primeiros tipos de juntas pretendem criar uma descontinuidade estrutural no pavimento. Por sua vez, a realização de juntas serradas tem como objectivo concentrar no seu plano a fendilhação que se desenvolve durante a vida útil do pavimento devida, fundamentalmente, a retracção do betão, a variações de temperatura e de humidade quer do meio ambiente quer do próprio material. A ocorrência de fendas num pavimento aumenta quando, por qualquer motivo, quer interno ou externo ao material, os movimentos da laje são restringidos. Num pavimento industrial são vários os aspectos que contribuem para essa restrição, tais como a fricção entre a laje do pavimento e a sub-base que a suporta, a presença de elementos estruturais (paredes, pilares, etc.), etc.

#### 3.1 Juntas de dessolidarização (ou expansão)

A laje de um pavimento industrial deve ficar isolada dos elementos estruturais existente no edifício, tais como pilares, paredes, fundações, etc., ou de outros elementos tais como fundações de equipamentos, escadas, caixas de visita, elementos de drenagem, etc. [5]. De forma a criar a descontinuidade estrutural necessária, recorre-se à criação de juntas de dessolidarização (ou expansão), as quais consistem na aplicação de uma folha de polietileno expandido entre o pavimento e os elementos citados, à excepção dos pilares, permitindo assim a acomodação dos movimentos da laje. Quando se prevê que no pavimento em causa existirão escorrências de produtos tais como óleos, água, etc., é aconselhável que a junta em causa seja selada com um material elastómero (ver Figura 3).

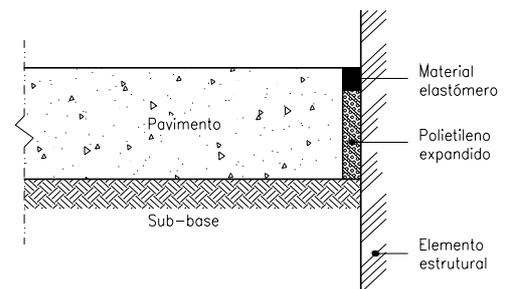


Figura 3. Esquematização de uma junta de dessolidarização

No que diz respeito à forma de dessolidarizar o pavimento dos pilares, o processo difere um pouco do apresentado anteriormente, isto devido a especificidades que se prendem basicamente com os processos construtivos utilizados. Assim, é frequente adoptar-se uma de duas soluções possíveis (ver Figura 4): i) execução de uma junta de controlo da fendilhação em forma de diamante; ii) ou executar uma junta de construção circular, com recurso a uma cofragem metálica perdida.

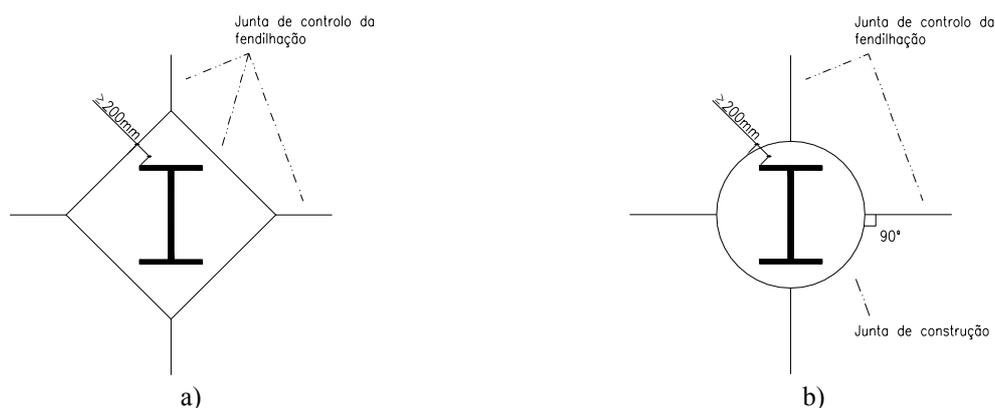


Figura 4. Dessolidarização entre o pavimento e os pilares: a) realização de uma junta de controlo da fendilhação em forma de diamante; b) realização de uma junta de construção circular

Frequentemente, os aspectos que são tidos em conta para a determinação da largura das juntas ficam-se pela avaliação da retracção ou expansão prevista para determinada variação de temperatura. Aspectos como a temperatura do meio ambiente aquando da aplicação do betão, processos de cura, etc., não são normalmente considerados, o que a longo prazo pode significar uma abertura da junta superior à prevista dando-se, conseqüentemente, a falha do produto de selagem da junta [6]. Em aplicações correntes, o valor normalmente adoptado para a largura destas juntas encontra-se no intervalo de 3 a 6 mm podendo, em casos mais severos, aumentar até aos 10 mm. A profundidade da junta deve ser igual à espessura do pavimento.

### 3.2 Juntas de construção

Sempre que possível a execução de juntas de construção deve ser evitada, uma vez que este tipo de juntas introduz pontos de fragilidade no pavimento. Normalmente, a existência deste tipo de juntas fica a dever-se a um dos seguintes aspectos: i) dependendo da área a betonar e sua geometria, do tipo de equipamento utilizado para a construção do pavimento, do nível de acabamento exigido, etc., pode não ser possível executar de uma só vez todo o pavimento; ii) por qualquer motivo a betonagem do pavimento não pode ser efectuada de forma contínua; iii) contingências ao nível do processo construtivo impedem a betonagem contínua da laje.

Com a execução deste tipo de juntas cria-se uma descontinuidade estrutural entre painéis contíguos do pavimento que, quando sujeitos a tráfego intenso de veículos, pode permitir assentamentos diferenciais entre os painéis em causa, o que acaba por deixar as arestas das juntas desprotegidas conduzindo à sua degradação (ver Figura 5). Surgem assim duas questões: como realizar a transferência de carga entre painéis contíguos e que procedimentos usar para a protecção das arestas das juntas? A resposta tem passado pelo recurso a sistemas de cofragem mais ou menos elaborados que permitem a aplicação quer de dispositivos de transmissão de carga quer de elementos para protecção das extremidades das juntas. Correntemente, este tipo de juntas é realizado com recurso a cofragens de madeira ou metálicas, podendo estas últimas ficarem embebidas no betão (cofragens perdidas) ou serem recuperadas.

No que diz respeito a dispositivos de transmissão de carga entre painéis contíguos do pavimento, os mais usados estão esquematizados na Figura 6, sendo conhecidos na terminologia inglesa por *dowels*. Normalmente têm a forma de uma placa ou, então, são simplesmente varões redondos ou retangulares lisos (também designados por ferrolhos). Normalmente são de aço, mas existem também soluções em fibra de vidro com vista a evitar a corrosão.

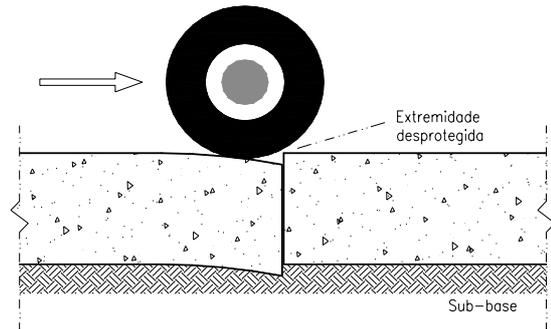


Figura 5. Esquematização do efeito de uma carga móvel na transição de uma junta de construção

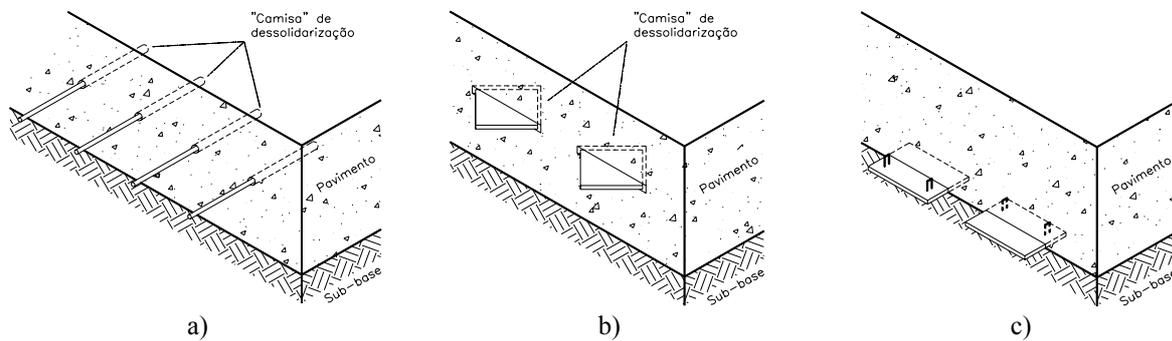


Figura 6. Dispositivos de transmissão de cargas entre painéis contíguos do pavimento: a) ferrolhos; b) chapas em forma de diamante; c) chapas

Estes sistemas devem minimizar os deslocamentos verticais diferenciais entre as faces da junta e não impedir os deslocamentos da laje no seu plano. Dos dispositivos apresentados, os ferrolhos redondos são aqueles que provocam maiores restrições ao movimento da laje no seu plano, uma vez que as camisas de dessolidarização que são aplicadas neste tipo de ferrolhos não deixam folga suficiente para que a laje se deforme no sentido ortogonal ao alinhamento dos ferrolhos.

No que diz respeito aos restantes tipos de dispositivos de transmissão de cargas, quer pelas características da sua geometria quer pelas características das camisas de dessolidarização dos mesmos, tal restrição não ocorre (ver Figuras 7 e 8).

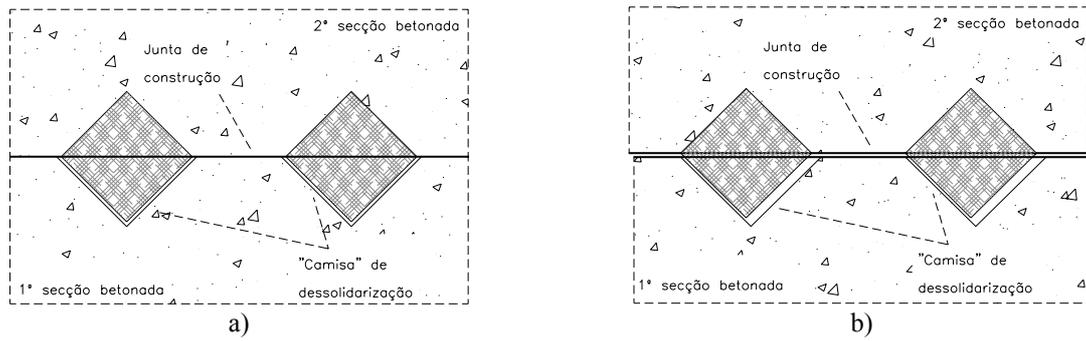


Figura 7. Junta em diamante - acomodação dos movimentos em um pavimento industrial: a) antes da retracção; b) após a retracção

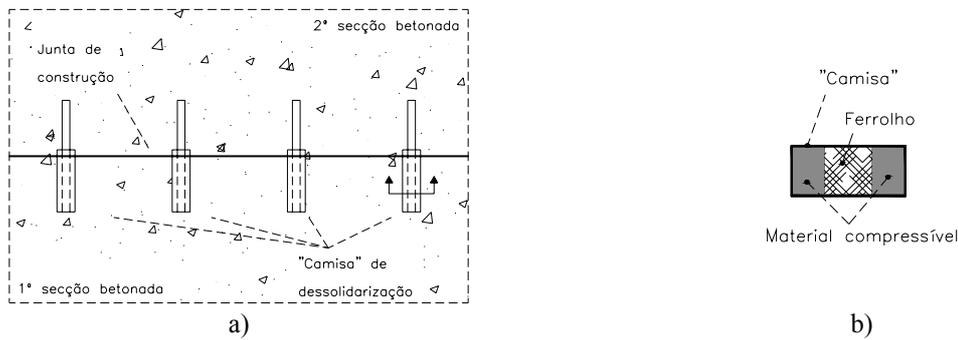


Figura 8. Junta ferrolhada - acomodação dos movimentos em um pavimento industrial: a) colocação dos ferrolhos; b) pormenor da camisa do ferrolho

A disposição destes sistemas na laje exige extremo cuidado visto que, uma deficiente colocação dos mesmos origina frequentemente o surgimento de fendas [7] (ver Figura 9). Assim, qualquer dos dispositivos apresentados deve ficar perfeitamente horizontal. No caso dos ferrolhos, estes também devem ficar ortogonais ao traçado da junta de construção, de forma a evitar que os movimentos da laje ortogonais a essa junta sejam restringidos. Estudos demonstraram que o desvio máximo no alinhamento vertical ou oblíquo dos ferrolhos deve ser de 6 mm, e o seu desvio máximo horizontal deverá ficar limitado a 20 mm [3].



Figura 9. Fendilhação devida a: a) restrição do movimento paralelo à junta; b) deficiente alinhamento ortogonal à junta dos ferrolhos ou deficiente dessolidarização de metade do comprimento dos ferrolhos, impedindo assim o movimento da laje no sentido ortogonal à junta

Uma outra técnica por vezes usada nas juntas de construção passa pela realização de uma transição entre painéis contíguos do tipo “macho-fêmea” (ver Figura 10). No entanto, esta não é uma solução eficaz uma vez que, após a retracção do betão, a transferência de carga entre painéis contíguos só se verifica caso um dos painéis se deforme verticalmente, ou seja, precisamente parte daquilo que se pretende evitar.

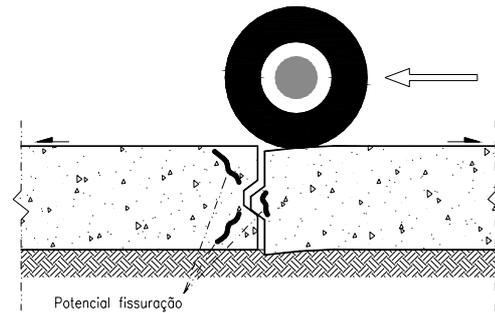


Figura 10. Esquematização de uma junta de construção do tipo “macho-fêmea” (junta em Ômega)

No que diz respeito a dispositivos de protecção das arestas da junta, encontram-se no mercado internacional algumas soluções que se têm mostrado eficazes. Com efeito, esse tipo de protecção é realizada recorrendo a elementos ou perfis metálicos que ficam solidarizados ao betão. A título de exemplo, apresentam-se na Figura 11 duas soluções propostas por empresas internacionais.

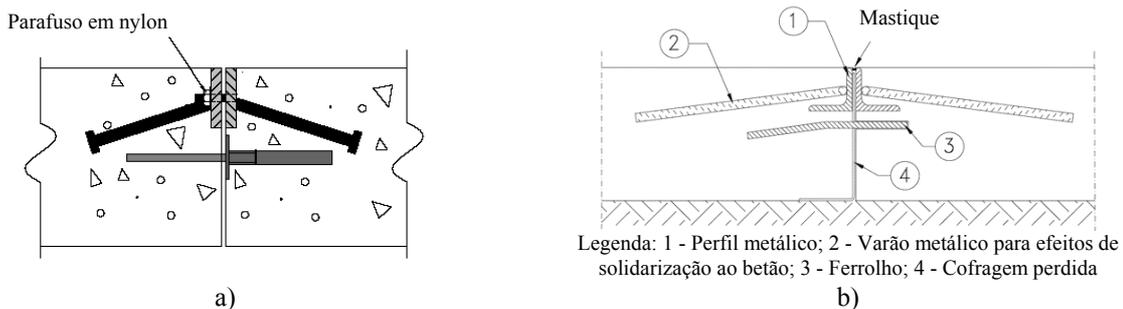


Figura 11. Soluções de protecção de juntas de construção: a) sistema proposto por “Permaban”; b) sistema proposto por “Peikko”

Após a maior parte da retracção ter ocorrido (90 dias é o período geralmente apontado, mas conforme foi já referido está dependente de vários factores), o espaço deixado entre painéis deve ser colmatado com um material elastómero, de forma a prevenir a infiltração para o interior da junta, quer de fluidos quer de partículas sólidas.

### 3.3 Juntas de controlo da fendilhação (ou serradas)

A erradicação deste tipo de juntas é objectivo de projectistas e aplicadores, dado serem fonte quer de elevados encargos de manutenção quer da degradação do pavimento quando mal projectadas e/ou executadas. Nesse sentido, algumas propostas têm sido avançadas, tais como o recurso a: i) percentagens elevadas de fibras metálicas (exigindo metodologias apropriadas de definição da composição do betão, por forma a ser assegurada a necessária trabalhabilidade); ii) betões auto-compactáveis reforçados com fibras de aço; iii) “cocktail” de fibras, ou seja, o recurso a fibras de diferentes geometrias e materiais; iv) aplicação de pré-

esforço na laje do pavimento. O recurso a aditivos expansivos ou a cimento expansivo também tem sido uma prática cada vez mais comum no mercado internacional, com particular incidência no mercado Norte-americano, dado obterem-se betões auto-compensáveis, os quais, ao longo do seu processo de cura, sofrem uma expansão introduzindo um estado de pré-compressão no material. Após 7 a 14 dias da aplicação do betão, a influência da retracção começa a ser significativa, diminuindo aquele estado de pré-compressão. Os níveis de pré-compressão são determinados por forma a que a tensão máxima de tracção não ultrapasse a resistência à tracção do material [8, 9]. No entanto é difícil de garantir, com rigor, o nível de pré-compressão, bem como determinar, com rigor, as deformações por retracção, pelo que, na maior parte dos casos práticos, ainda é duvidoso que com o recurso às técnicas indicadas se consiga eliminar totalmente as juntas de controlo da fendilhação. No estado actual do conhecimento é mais razoável reconhecer que essas técnicas apenas permitem aumentar a distância entre juntas, nalguns casos consideravelmente.

Uma junta de controlo da fendilhação é normalmente realizada com recurso a equipamento mecânico, ou seja, procede-se à serragem da laje do pavimento (ver Figura 12). Este procedimento deve ser efectuado logo que a laje apresente resistência suficiente para que operadores e equipamentos possam realizar esta tarefa. Normalmente o intervalo de quatro a doze horas a seguir à aplicação do betão é apontado como sendo o mais adequado. Quatro horas se o meio-ambiente estiver quente, doze horas caso se verifique o oposto [5]. Este período poderá ser prolongado, principalmente quando o betão é reforçado com fibras metálicas ou quando se utiliza endurecedor de superfície de partículas minerais ou metálicas no acabamento superficial do pavimento [5], de forma a evitar-se desagregação do endurecedor ou deficiente aderência fibra-matriz nas zonas influenciadas pelo processo de abertura da junta.



Figura 12. Realização de uma junta serrada

A tipologia mais frequente deste tipo de juntas está representada na Figura 13a, consistindo na execução de um corte longitudinal com uma profundidade que deve ser o maior valor entre  $1/3$  da espessura da laje e 25 mm [5]. Com a realização deste entalhe pretende-se criar um plano de “fraqueza” na laje, de forma a localizar a fendilhação ao longo desse mesmo plano [3].

Tal como nas juntas de construção, também neste tipo de juntas a transferência de carga entre painéis adjacentes assume importância relevante. Com efeito, este tipo de juntas deve permitir que a laje se deforme em todas as direcções do seu plano, mas deve impedir os movimentos verticais da mesma. Visto que neste tipo de juntas não há uma descontinuidade estrutural como a criada nas juntas de construção, o embricamento entre agregados na parte não serrada da junta pode ser tido em conta para a transferência de carga entre painéis adjacentes à junta. No entanto, tal aspecto só deve ser considerado se o valor esperado para a abertura da junta for inferior a 0.9 mm [5]. Caso se recorra a betões reforçados com fibras, a eficácia dessa transferência de carga aumenta, dada a resistência oferecida pelas fibras que atravessam a

junta [3]. No entanto não há estudos exaustivos que permitam converter este aspecto qualitativo em indicadores de projecto. Estudos demonstraram que a eficácia de uma junta e a capacidade de um painel de laje transmitir carga ao painel adjacente diminui com o aumento da abertura da junta, diminui com o aumento das cargas, melhora com a resistência da fundação, aumenta com a espessura da laje e aumenta com a dimensão e rugosidade dos inertes [3].

Quando não é possível contar com o embricamento dos agregados para a realização da transferência de cargas, é frequente recorrer-se à utilização de ferrolhos, em tudo idênticos aos apresentados no ponto anterior (ver Figura 13b). Os ferrolhos devem ser colocados a meia altura da espessura do pavimento, perfeitamente alinhados com a horizontal e ortogonais à junta. Metade do seu comprimento deve estar envolto por uma “camisa” de forma a permitir que nesse comprimento, o ferrolho fique dessolidarizado do betão. Existem no mercado elementos construtivos que permitem a adequada disposição dos ferrolhos ao longo do alinhamento da junta (ver Figura 14).

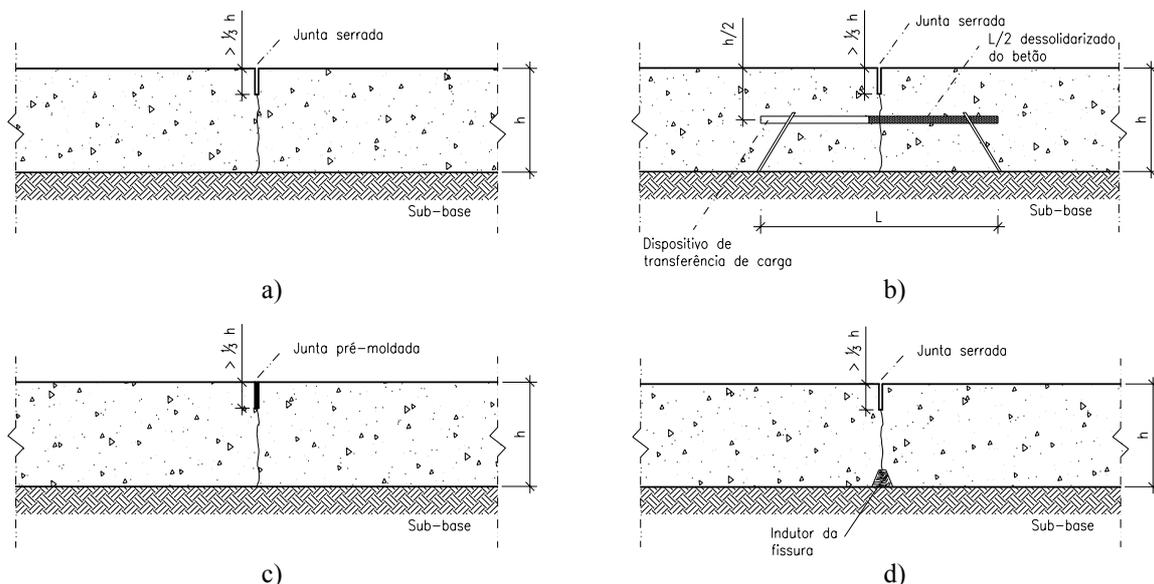


Figura 13. Tipos de juntas de controlo da fendilhação: a) Junta serrada; b) Junta serrada e ferrolhada; c) Junta pré-moldada; d) Junta serrada auxiliada por um indutor de fenda

Uma outra forma de realizar juntas de controlo da fendilhação passa pela introdução, ainda durante a fase plástica do betão, de elementos pré-moldados que criam a descontinuidade requerida (ver Figura 13c), no entanto este é um processo de difícil execução.

Sempre que a espessura da laje do pavimento for elevada (acima dos 250 mm), deve ser colocado na base do mesmo, e segundo o alinhamento previsto para a junta de controlo da fendilhação, um elemento que auxilie a induzir a fenda (ver Figura 13d). Existem no mercado dispositivos metálicos apropriados para esta função, podendo, no entanto, o mesmo efeito ser conseguido mediante a aplicação de uma ripa de madeira.

Em quaisquer uma das soluções apresentadas, caso a laje seja reforçada com armadura convencional (rede electrossoldada ou varões de aço), esse mesmo reforço deve ser interrompido ao nível do plano de fraqueza criado com a realização da junta de controlo da fendilhação pois, caso contrário, os movimentos horizontais da laje serão restringidos.

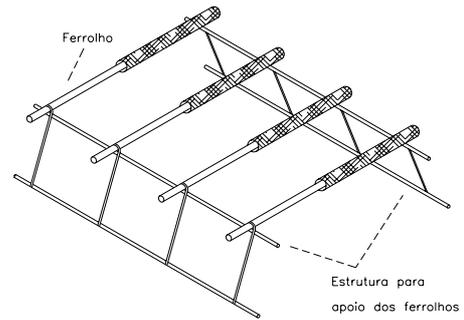


Figura 14. Sistema de suporte de ferrolhos para aplicação dos mesmos numa junta serrada

A selagem das juntas carece de particular atenção. Com efeito, a selagem de uma junta de controlo da fendilhação realiza-se com o objectivo de atender a três aspectos: higiene, funcionalidade e aspecto estético do pavimento. As propriedades a exigir ao produto de selagem dependem em muito das condições de utilização do pavimento, podendo-se no entanto destacar as seguintes: durabilidade; elasticidade; resistência às cargas; resistência aos ataques químicos; resistência ao ataque de óleos; resistência ao envelhecimento; aderência inicial e ao longo do tempo ao betão; módulo de deformação baixo de forma a minimizar as tensões internas; permitir a aplicação de pinturas [10].

O tipo de produto mais usado é normalmente composto por um material elastómero, devendo este permitir uma boa acomodação dos movimentos da laje do pavimento sem ocorrer cedência do mesmo. É frequente os produtores deste tipo de material indicarem a relação ideal entre a profundidade e a largura de enchimento da junta, de forma a ser garantido o adequado funcionamento do material de selagem. Uma vez que a profundidade da junta é normalmente superior à profundidade de enchimento necessária para a obtenção da relação referida, é usual aplicar-se primeiro um cordão de polietileno extrudido a uma profundidade tal que permita colmatar a junta de acordo com as indicações do fabricante do produto aplicado para a selagem da junta (ver Figura 15). A aplicação do produto de selagem é normalmente executada com o recurso a equipamento pneumático – pistola pneumática (ver Figura 16).

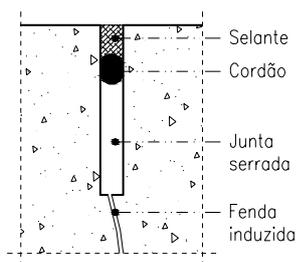


Figura 15. Selagem de uma junta serrada



Figura 16. Aplicação do produto de selagem

As resinas epoxi semirrígidas são outro tipo de material aplicado na selagem das juntas de controlo da fendilhação. Apresentam o inconveniente de acomodarem apenas pequenos movimentos da laje mas, em contra-partida, apresentam uma maior resistência às acções exercidas por tráfego intenso de veículos. A aplicação deste tipo de produtos apenas deve ser

realizada quando grande parte da retracção já tenha ocorrido.

### 3.4 Juntas de dilatação

Para todos os efeitos, uma junta de dilatação pode ser comparada a uma junta de dessolidarização. No entanto, não se pretende com este tipo de juntas dessolidarizar a laje do pavimento de qualquer elemento construtivo fixo, mas sim apenas fazer frente à eventual expansão da laje do pavimento devido a variações de temperatura e humidade no meio-ambiente.

A construção deste tipo de juntas em um pavimento industrial normalmente não é necessária, uma vez que a deformação devida à retracção é geralmente superior à expansão devida à variação de temperatura e de humidade durante a vida útil do pavimento, existindo uma certa compensação entre ambos os efeitos [10].

Em termos construtivos, uma junta de dilatação é em tudo idêntica a uma junta de construção, ou seja, é necessário prever elementos de transmissão de carga entre painéis contíguos do pavimento, idênticos aos referidos no ponto 3.2. Difere apenas no facto de entre os painéis existir um espaçamento que normalmente varia entre 10 e 20 mm, o qual é preenchido de forma idêntica ao de uma junta de dessolidarização (ver Figura 17).

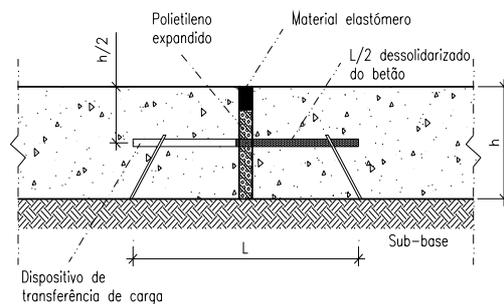


Figura 17. Junta de dilatação

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA ENTRE PAINÉIS

A utilização de dispositivos de transferência de cargas entre painéis contíguos do pavimento visa minimizar os esforços e as deformações que se verificam no pavimento quando este é solicitado na proximidade de uma junta. Esta solicitação induzirá esforços e deformações menores no pavimento caso seja, eficazmente, distribuída pelos dois painéis separados pela junta. Para tal recorre-se à aplicação de dispositivos de transferência de carga ao longo do alinhamento das juntas, estando a eficácia de tais dispositivos dependente dos seguintes três parâmetros: i) espaçamento entre os dispositivos; ii) secção transversal dos mesmos; iii) abertura da junta.

No que diz respeito à aplicação de ferrolhos, a selecção do seu diâmetro e do seu espaçamento é frequentemente efectuada mediante a adopção de valores baseados na experiência prática. A título de exemplo apresentam-se na Tabela 1 os valores recomendados pelo ACI [5], podendo verificar-se que, regra geral, o espaçamento entre os ferrolhos é de 300 mm e o seu diâmetro é

função da espessura do pavimento.

Com o surgimento de modelos de cálculo mais sofisticados foi possível estudar com maior rigor outras soluções de transferência de carga. Estudos demonstraram que dispositivos em forma de placas, como os esquematizados na Figura 6b, apresentam melhor desempenho que o registado com ferrolhos, uma vez que a geometria da placa acompanha de forma mais apropriada os esforços introduzidos durante a transferência de carga entre painéis contíguos [11]. No sentido de relacionar o desempenho entre estes dois sistemas de transferência de carga, os fabricantes de placas em forma de diamante sugerem os valores indicados na Tabela 2.

Tabela 1. Valores recomendados pelo ACI para dimensionamento dos ferrolhos

ESPESSURA DA LAJE	DIÂMETRO DO FERROLHO	COMPRIMENTO DO FERROLHO	ESPAÇAMENTO ENTRE FERROLHOS
$h < 125$	16	400	300
$125 \leq h < 175$	19	400	300
$175 \leq h < 200$	25	450	300
$200 \leq h < 275$	30	450	300

Unidades em mm

Tabela 2. Equivalência entre ferrolhos e placas em forma de diamante

DIÂMETRO DO FERROLHO	DISTÂNCIA ENTRE O CENTRO DOS DISPOSITIVOS	DIMENSÃO DA PLACA
	Ferrolhos	Placas
16	300	600
	450	750
20	300	450
	450	600
25	300	300
	450	450

Unidades em mm

Consultando as Tabelas 1 e 2 pode-se realizar um dimensionamento expedito dos dispositivos em causa. Trata-se, no entanto, de uma metodologia semi-empírica, suportada em dados fornecidos pelos fabricantes, não tendo havido preocupação com o comportamento em grupo de um dado conjunto de dispositivos. FRIBERG [12] e mais actualmente YODER [13] e HUANG [14] deram especial cuidado à análise dos esforços instalados em um grupo de ferrolhos.

Segundo FRIBERG [12], os esforços instalados nos ferrolhos estão intimamente ligados ao raio de rigidez relativo,  $\ell$ , ver Eq. (1). Admitindo uma degradação linear da influência da força, este autor verificou que, para uma carga aplicada na proximidade de uma junta, o máximo momento negativo e conseqüente esforço transversal nulo ocorre a uma distância de  $1.8 \ell$  do ponto de aplicação da carga. Esta relação é válida quer para uma carga aplicada no interior quer num bordo livre do pavimento (ver Figura 18).

$$\ell = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)k}} \quad (1)$$

em que  $\ell$  é raio de rigidez relativo [mm],  $E$  é o módulo de elasticidade do betão [N/mm<sup>2</sup>],  $h$  é a espessura da laje [mm],  $\nu$  é o coeficiente de Poisson do betão e  $k$  é o coeficiente de rigidez do solo da sub-base da laje [N/mm<sup>3</sup>].

Estudos efectuados mais recentemente defendem a ideia de que o máximo momento negativo ocorre a  $1.0 \ell$ , o que na prática significa um menor número de ferrolhos solicitados e, conseqüentemente, uma maior carga instalada ao nível desses mesmos ferrolhos [14].

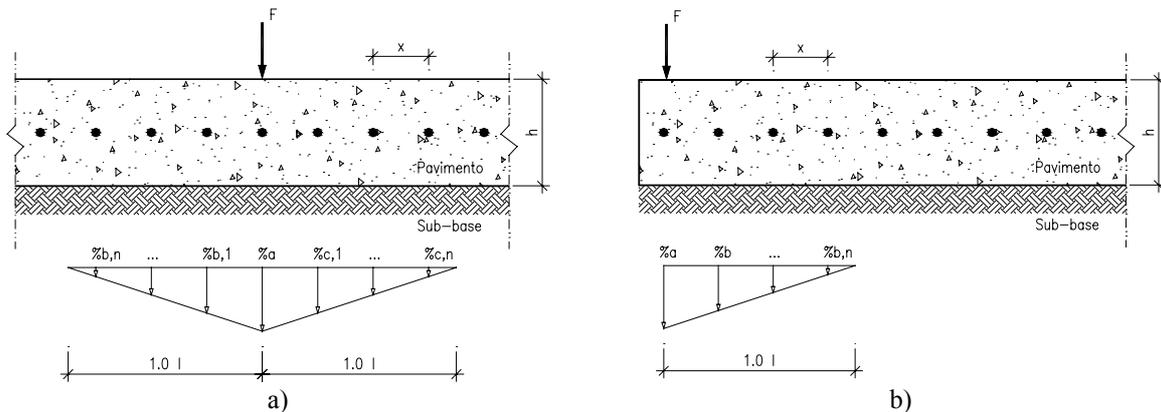


Figura 18. Esquemática da degradação da força transmitida aos ferrolhos (vista ortogonal ao alinhamento da junta): a) força aplicada no interior do pavimento; b) força aplicada no bordo livre do pavimento

Da análise da Figura 18 facilmente se determina a percentagem de força atribuída a cada ferrolho. No entanto, essa percentagem é ainda influenciada pela eficácia dos ferrolhos na transferência de carga entre painéis contíguos. Em termos de dimensionamento, admitir uma eficácia de 100% corresponde à situação mais gravosa. Com efeito, ao admitir-se uma eficácia de 100% está-se a assumir que, quando uma carga é aplicada na proximidade de uma junta, a deformação dos painéis contíguos é igual, ou seja, metade da carga é absorvida por cada um dos painéis, estando assim os ferrolhos sujeitos a um esforço transversal no valor de  $F/2$  (ver Figura 19).

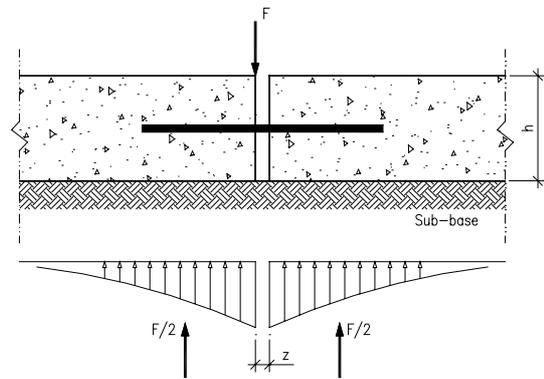


Figura 19. Esquemática da taxa de eficácia de transmissão de cargas entre painéis contíguos do pavimento (vista longitudinal ao traçado da junta)

Assim, admitindo-se uma taxa de eficácia de transmissão de cargas de 100%, da análise da Figura 18 facilmente se constata que a força instalada ao nível do ferrolho mais solicitado,

quando a carga é aplicada no interior do pavimento, é

$$F_{\max,f} = \frac{F/2}{\%_a + \sum_1^n \%_{b,n} + \sum_1^n \%_{c,n}} \quad (2)$$

e no caso da força aplicada no bordo livre do pavimento, é

$$F_{\max,f} = \frac{F/2}{\%_a + \sum_1^n \%_{b,n}} \quad (3)$$

em que,

$$\%_a = 1 \quad ; \quad \%_{b,1} = \%_{c,1}, \dots, \%_{b,n} = \%_{c,n} \quad ; \quad \%_{b,n} = \frac{1.0 \times \ell - nx}{1.0 \times \ell} \quad (4)$$

sendo  $F_{\max,f}$  a força instalada ao nível do ferrolho mais solicitado,  $x$  a distância entre ferrolhos e  $n$  o número do ferrolho em causa. Quando na presença do efeito de uma outra carga aplicada a uma distância inferior a  $1.0 \ell$ , a determinação da força instalada no ferrolho mais solicitado deve ser aferida mediante a análise separada de cada uma das cargas, seguida da soma dos dois diagramas que representam a percentagem de degradação da carga transmitida aos ferrolhos por cada uma dessas cargas.

Conhecida a força instalada ao nível do ferrolho mais solicitado, FRIBERG [12] indica que a máxima deformação do mesmo, medida na face da junta, é expressa por:

$$y_0 = \frac{F_{\max,f} (2 + \beta z)}{4\beta^3 E_f I_f} \quad (5)$$

em que  $y_0$  é a deformação do betão [mm],  $\beta$  é a rigidez relativa entre o ferrolho e o betão [mm],  $z$  é a abertura da junta [mm],  $E_f$  é o módulo de Young do ferrolho [GPa] e  $I_f$  é o momento de inércia do ferrolho [mm<sup>4</sup>]. Por sua vez,

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{Kd}{4E_f I_f}} \quad (6)$$

sendo  $K$  o módulo de deformabilidade do ferrolho [GPa/m], [15] e  $d$  o seu diâmetro [mm].

Conhecidos tais valores, a determinação da tensão instalada no betão ( $\sigma_{inst}$ ) é imediata, tensão essa que tem de ser menor que a tensão admissível ( $\sigma_{adm}$ ) [13]:

$$\sigma_{inst} = Ky_0 \quad [\text{MPa}] \quad (7)$$

em que,

$$\sigma_{adm} = \left( \frac{4-d}{3} \right) f_{ck} \quad [\text{MPa}] \quad (8)$$

em que  $f_{ck}$  é a tensão de compressão do betão [MPa].

## 5. TRAÇADO GEOMÉTRICO DAS JUNTAS

O projecto do traçado das juntas é frequentemente descurado ou inexistente. Todavia, um adequado traçado é de extrema importância, pois o comportamento estrutural do pavimento está intrinsecamente ligado a esse traçado, quer sob o aspecto de projecto assim como da sua execução.

O traçado geométrico das juntas é influenciado, no global, por aspectos tais como o tipo de reforço estrutural da laje do pavimento, a espessura desta e o coeficiente de atrito entre a laje e a sub-base que a suporta. A experiência demonstra que, para pavimentos com espessura da ordem dos 15 cm, a distância entre juntas deve ir até um limite máximo de 5 m, devendo esta distância diminuir para pavimentos com espessuras menores, e vice-versa.

No entanto, a presença de certos tipos de singularidades no pavimento (pontos críticos) podem também influenciar esse mesmo traçado. Assim, a geometria do pavimento em causa deve ser analisada de forma a identificar todos os pontos críticos, entendendo-se por pontos críticos todas as singularidades que, quer pela sua geometria quer devido aos processos construtivos adoptados ou contingências ao nível dos mesmos, introduzem esforços ao nível da laje do pavimento, esforços esses que normalmente não são tidos em conta no cálculo estrutural da laje. Como exemplo de pontos críticos têm-se os elementos estruturais que são “abraçados” pelo pavimento (pilares, fundações de equipamentos, etc.), a existência de cantos internos ao pavimento, o alinhamento das cristas das várias pendentes do pavimento, a existência de dispositivos tais como ralos e caixas de visita, etc.

Assim, e para que se minimize o recurso a sistemas de reforço locais, o projecto do traçado geométrico das juntas deve ser realizado tendo presente a localização das singularidades identificadas, assim como deve ter em conta o processo construtivo adoptado, os

equipamentos de construção utilizados, as suas limitações, etc.

Não se pode dizer que para cada uma das singularidades apresentadas exista uma única solução, no entanto existem aspectos gerais que devem ser tidos em atenção aquando da adopção de determinada solução. Assim, o projectista deve atender aos seguintes pontos:

- A laje de pavimento térreo deve trabalhar de forma isolada da estrutura do edifício, ou seja, não devem existir pontos de ancoragem entre o pavimento e elementos da estrutura portante [5]. Para tal, deve-se recorrer à realização de juntas de dessolidarização em torno de todos os elementos estruturais (pilares, fundações de equipamentos, paredes estruturais ou não estruturais, etc.);
- O traçado de qualquer um dos tipos de juntas identificadas no Ponto 3 deve ser contínuo, devendo esse mesmo traçado apenas ser interrompido na intercepção com uma junta de construção, ou junta de dilatação ou junta de dessolidarização. O traçado de qualquer um dos tipos de juntas identificados nunca deve terminar na intercepção com uma junta de controlo da fendilhação [1];
- A intercepção dos alinhamentos dos vários tipos de juntas deve ser sempre efectuada com um ângulo igual ou superior a  $90^\circ$ . Quanto o traçado de qualquer um dos tipos de juntas enumeradas encontra uma curva, o ângulo de intercepção entre ambos os elementos deve ser sempre igual a  $90^\circ$ ;
- O traçado das juntas deve contemplar a realização de painéis de laje com uma relação ideal entre lados de 1:1, podendo esta relação ir até um máximo de 1:1.5 [5];
- A realização de painéis em forma de L ou T deve ser evitada de forma a evitar a criação de cantos internos ao pavimento [5]. Na presença de um canto interno no pavimento deve-se tentar alinhar a junta com esse mesmo canto ou, em alternativa, dimensionar sistemas de reforço locais, em armadura convencional, que atendam às tensões que surgem nessas zonas devidas à retracção do betão;
- Sempre que possível, o alinhamento das juntas deve coincidir com o alinhamento dos pés das prateleiras ou estantes, devendo-se prever uma distância ortogonal entre os alinhamentos da junta e dos pés das prateleiras ou estantes da ordem dos 15 cm;
- Sempre que possível, o alinhamento das juntas deve coincidir com o alinhamento dos pilares da estrutura. Em consonância com o que já foi referido atrás, o pavimento deve ficar dessolidarizado destes mesmos pilares devendo-se, para isso, realizar uma junta de controlo de fissuração em forma de diamante, ou realizar uma junta de construção com geometria circular recorrendo a uma cofragem metálica perdida;
- Se bem que a localização de uma junta de construção está dependente de vários aspectos (ver ponto 3.2), o traçado deste tipo de juntas deve, sempre que possível, coincidir com a localização onde estaria prevista a realização de uma junta de controlo da fendilhação;
- À excepção das juntas de dessolidarização, o alinhamento de todos os outros tipos de juntas é, regra geral, ortogonal ou longitudinal ao sentido do movimento do tráfego dos veículos. De forma a minimizar o efeito nocivo que esse mesmo movimento provoca nas

extremidades de placas contíguas do pavimento, o alinhamento das juntas em questão pode ser rodado 45°, passando-se assim a minimizar o ataque à junta por parte do tráfego. No entanto, quando na presença de estantarias e/ou pilares, esta opção provoca conflitos com a condição, desejável, de se realizar um alinhamento das juntas coincidente com o alinhamento dos pés das estantes e/ou o alinhamento dos pilares.

A título de exemplo apresenta-se na Figura 20 a esquematização de uma possível solução para o traçado das juntas a realizar no pavimento em causa.

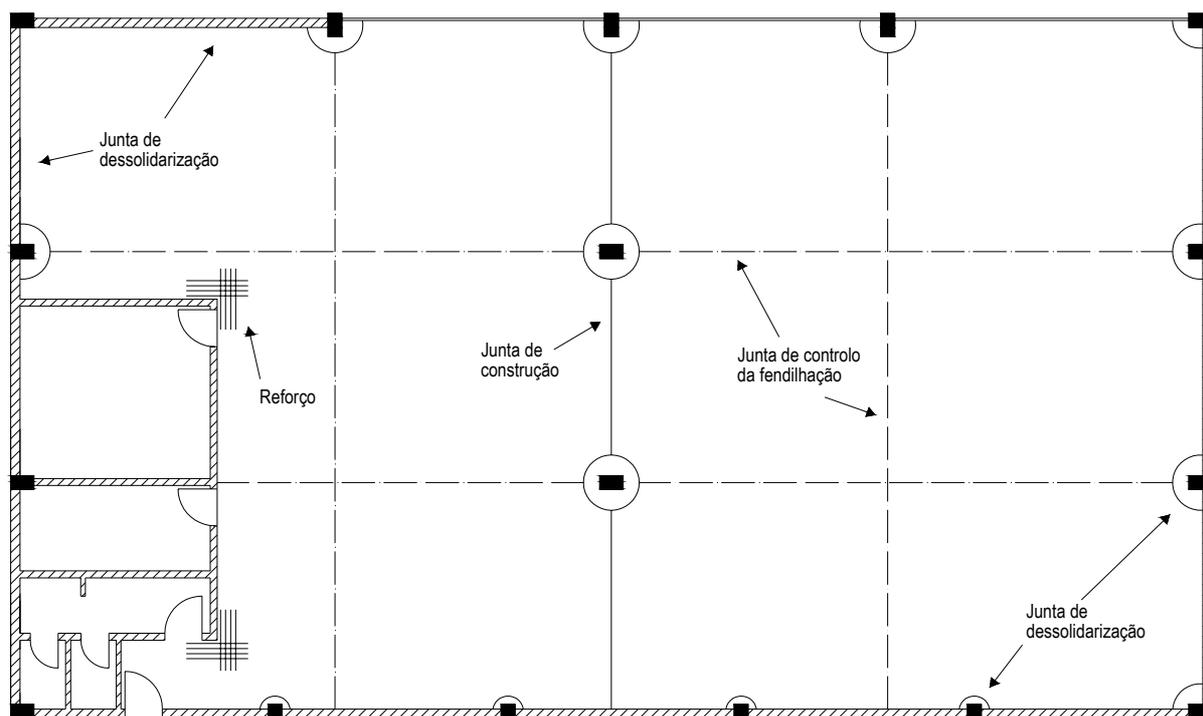


Figura 20. Esquematização do traçado das juntas

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento no âmbito do projecto “*POCTI/34793/99 – Cost competitive steel fibre reinforced concrete for industrial pavements*” financiado pelo POCTI e FCT. O Segundo autor deseja ainda agradecer o apoio concedido ao abrigo da bolsa SFRH/BSAB/291/2002-POCTI concedida pela FCT e FSE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RODRIGUES, Públio P. Firme; Gasparetto, Wagner E. – “Juntas em Pisos Industriais”. São Paulo. Brasil, 1999

- [2] COUTINHO, A. de Sousa; Gonçalves, Arlindo – “Fabrico e propriedades do betão - Volume III”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 1994
- [3] BARROS, Joaquim – “Pavimentos Industriais - materiais, dimensionamento e processos construtivos”. Relatório 00-DEC/E-5. Universidade do Minho. Guimarães, Junho de 2000
- [4] WILLIAMSON, Neil – “Defects in Industrial Concrete Floors - Their Causes and How to Avoid Them”. Actas do “5th International Colloquium ‘Industrial Floors’”. Technique Academy Esslingen, Estugarda. Alemanha, 21-23 Janeiro de 2003
- [5] ACI COMMITTEE 302 – “Guide for Concrete Floor and Slab Construction”. ACI 302.1R-96. American Concrete Institute
- [6] CHOWCHUVECH, Paiboon; Gee, Christopher – “Specifying Expansion Joint Width in Supported Concrete Slabs”. revista “Concrete international”. Março de 2003
- [7] SCHRADER, Ernest K. – “A Solution to Cracking and Stresses Caused by Dowels and Tie Bars”
- [8] LUCO, Luis F.; Pombo, Roberto; Torrent, Roberto – “Shrinkage-Compensating Concrete in Argentina - A large industrial floor benefits from modern concrete technology”. revista “Concrete international”. Maio de 2003
- [9] WALKER, Wayne W.; Holland, Jerry A. – “Minimizing floor and paving joints, cracks, and curl with shrinkage-compensating concrete”, actas do “5th International Colloquium ‘Industrial Floors’”. Technique Academy Esslingen, Estugarda. Alemanha, 21-23 Janeiro de 2003
- [10] JOFRÉ, Carlos; Vaquero, Julio J. – “Manual de Pavimentos Industriales”. IECA - Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones
- [11] WALKER; Holland – “Plate Dowels for slabs on ground”. Concrete International. Julho de 1998
- [12] FRIBERG, B. F. – “Design of dowels in transverse joints of concrete pavements”. ASCE. 1940
- [13] YODER, E. J. – “Princípios para o dimensionamento de pavimentos”. Laboratório de Engenharia de Angola. Luanda, 1973
- [14] HUANG, Yang H. – “Pavement Analysis and Design”. Ed. Prentice Hall. New Jersey, 1993
- [15] MURISON, S.; SHALABY, A.; MUFTI, Aftab – “Modelling of concrete pavement dowel-slab interaction”. 4th Transportation Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Montréal, Québec, Canada, 5-8 June, 2002.