

Pavimento de concreto estruturalmente armado

Eng^o Paulo Pedro Faria Rodrigues
Eng^o Márcio Rocha Pitta



Editora e Distribuidora de Livros Ltda. - São Paulo, SP

Pavimento de concreto estruturalmente armado

Eng. Públio Penna Firme Rodrigues • Eng. Márcio Rocha Pitta

1. Introdução

O concreto armado é em nosso meio, seguramente, o material com a maior gama de aplicações e volume de utilização, fazendo parte da nossa cultura de construção, graças à sua versatilidade de utilização e capacidade estrutural.

Entretanto, na pavimentação, o seu emprego é ainda bastante incipiente, sendo usado mais em pisos industriais, onde se observa que na maioria dessas aplicações, o cálculo é efetuado de maneira estimada, sem que sejam estabelecidos modelos adequados para a determinação dos momentos atuantes.

É importante frisar que os pavimentos com armadura distribuída, isto é, a que é colocada acima da linha média da espessura da placa, não devem ser considerados como sendo de concreto estruturalmente armado, pois a armadura absorve pouco esforço gerado pela ação do carregamento.

É por esse motivo que se dá preferência à utilização da denominação Pavimentos Estruturalmente Armados - PEA, para aqueles em que a armação tem de fato a função de combater as tensões de tração geradas na placa⁽¹⁾. Nesses pavimentos, a armadura é sempre posicionada na sua parte inferior, onde a maior parte dessas tensões desenvolvem-se. A única exceção que deve ser feita é para o carregamento uniformemente distribuído em pisos industriais, onde a tensão de tração máxima ocorre na parte superior da placa. A vantagem do emprego do PEA pode ficar evidente quando se faz uma análise da magnitude das tensões que atuam na placa de concreto, em função da posição do carregamento em relação às juntas, como pode-se ver na figura 1.

A carga no interior da placa, posição 2, é a que apresenta a menor solicitação, enquanto a localizada na borda longitudinal livre, posição 3, corresponde à maior solicitação.

Para efeitos comparativos pode-se afirmar que, se o momento gerado pela carga na posição 1 for igual a 1,0, essa mesma carga produzirá na posição 2 um momento igual a 0,7 e, na posição 3, um momento igual a 1,4 (valores aproximados).

Os aeroportos e pisos industriais são geralmente dimensionados considerando-se o carregamento na posição 2; obviamente o pavimento terá juntas, mas considera-se que elas estejam adequadamente protegidas pelo emprego de dispositivos de transferência de carga eficazes, como as barras de transferência, de modo a poder-se considerar a placa como de grandes dimensões.

Os pavimentos rodoviários eram considerados com as cargas atuando na posição 1; modernamente, já se considera que parte do tráfego, embora pequena, ocorra na borda longitudinal livre⁽²⁾, isto é, posição 3, além de levar em considerações outros fatores, como fadiga e erosão do concreto.

A idéia básica dos pavimentos estruturalmente armados é justamente determinar as diversas tensões atuantes para as diferentes posições de

carregamento, armando a placa nesses pontos específicos. Como vantagens tem-se que, não importa onde a carga esteja atuando, a capacidade estrutural do pavimento será sempre a mesma.

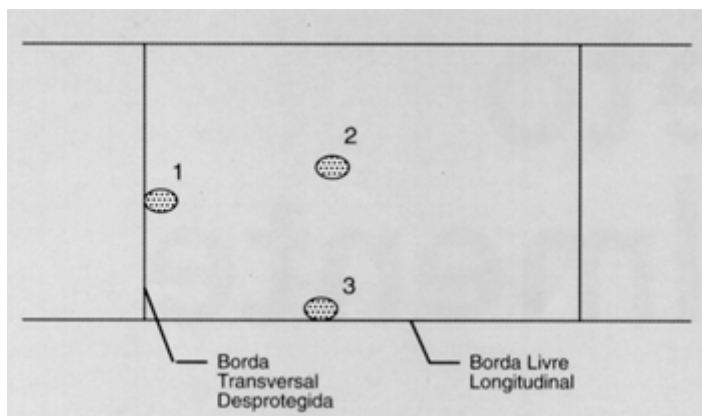


Figura 1: Posição das cargas em relação às juntas.

Para efeito de juntas, admite-se que todas elas estejam protegidas, de modo que se possa considerar que uma carga atuando bastante próxima a ela terá boa parte dos esforços, próximos a 50%, transferidos para a placa vizinha.

Para as juntas longitudinais, é importante proceder a uma análise acurada, em função da magnitude das tensões que ocorrem nesses locais.

Como modelo de produto final, ter-se-á um pavimento com armadura inferior, dimensionada, supondo as cargas no interior da placa, reforçada em suas bordas longitudinais, tomando-se para efeito de dimensionamento a carga atuando na borda longitudinal.

2. Métodos de dimensionamento

No pavimento de concreto simples o dimensionamento é feito de modo que a tensão gerada pelo momento fletor atuante não ultrapasse a tensão de tração na flexão do concreto, que acaba gerando espessuras elevadas. Como agravante tem-se que, quanto maior a espessura da placa, maior será o momento atuante⁽³⁾, que é função do raio de rigidez relativa, I , da placa.

Esse fato pode ser facilmente demonstrado com o emprego das cartas de influência de Pickett & Ray^(4,5), que permitem o cálculo das tensões atuantes na placa de concreto. Esse ponto pode ser bastante favorável no dimensionamento do pavimento armado, já que se pode empregar menores espessuras, resultando, portanto, em menores valores do momento atuante.

Por exemplo, supondo o caso de um veículo com eixo simples, trafegando no interior de uma placa, carregado com 100 kN e pressão de contato de 0,68 MPa, tem-se que quando a espessura da placa é de 20 cm ($I = 92,46$ cm) o momento atuante será de 107,7 tf.cm/m; reduzindo-se a espessura para 16,0 cm ($I = 77,75$ cm) e o momento atuante passa a ser de 101,5 tf.cm/m, reduzindo-se cerca de 6%.

A figura 2 apresenta a distribuição dos momentos, de acordo com trabalho de Losberg⁽³⁾, em uma placa elástica uniformemente apoiada no solo, devido à ação de uma carga de roda.

Nessa figura pode-se verificar que o momento máximo ocorre sob o centro de carga, enquanto o momento negativo, que atua na parte superior da placa, é bastante pequeno, podendo ser absorvido simplesmente pelo concreto, embora não existam restrições quanto à introdução de armadura superior.

As curvas A e B mostram, respectivamente, a distribuição de momentos para uma carga alta e baixa. A curva C mostra a distribuição dos momentos quando a placa passa para o estado plástico e ocorre o escoamento do aço.

Nesse ponto, verifica-se uma considerável redução na rigidez à flexão, assim que surgem as fissuras na zona de tração, com o nivelamento do momento máximo, que passa a ocorrer em uma região mais larga da placa. Essa condição aumenta consideravelmente a capacidade de suporte do pavimento estruturalmente armado, bem como a margem de segurança à ruína⁽⁶⁾.

Neste trabalho, não foi levada em conta a redução da rigidez à flexão, que promove considerável redução no raio de rigidez da placa; considerou-se que esse efeito seja deixado como reserva da capacidade estrutural do pavimento.

Os critérios empregados para o dimensionamento das armaduras são os mesmos utilizados no cálculo das estruturas. Apenas a determinação dos momentos fletores atuantes é que apresenta alguma novidade, por tratar-se de uma placa apoiada em um meio elástico.

2.1. Metodologia PEA

Essa denominação, simplificação de PCA/PEA, deriva do fato de empregar a mesma metodologia difundida pela Portland Cement Association na determinação dos momentos fletores, isto é, pelo emprego das cartas de influência⁽⁴⁾, notadamente as de número 2 (figura 3), momentos no interior da placa, e a de número 6 (figura 4), momentos na borda livre; ambas assumem que a fundação é um líquido denso.

Uma vez conhecidos os momentos atuantes, a determinação das armaduras necessárias para resistí-los passa a ser relativamente simples, seguindo os critérios usuais do cálculo do concreto armado.

O dimensionamento é feito em duas etapas, considerando inicialmente o carregamento no interior da placa e posteriormente na borda longitudinal livre do pavimento.

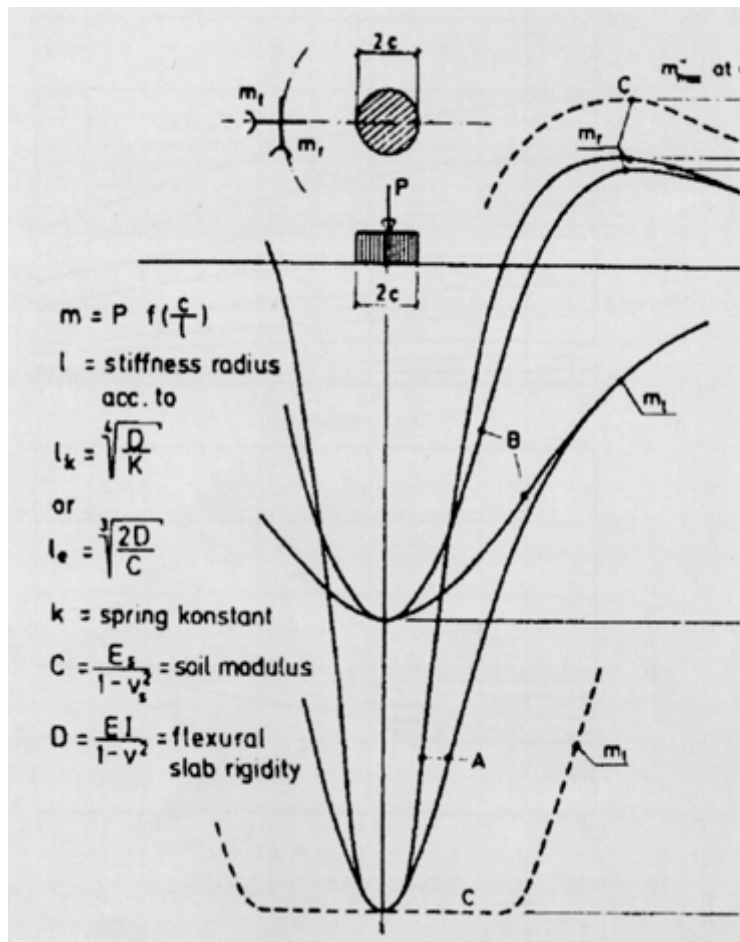


Figura 2: Distribuição dos momentos em uma placa elástica.

Considera-se que a tensão máxima na borda longitudinal ocorre quando a roda do veículo a está tangenciando, sendo que a partir do momento que ela se dirige para o interior, a tensão gerada diminui abruptamente; a apenas 10 cm da borda, ela atinge 50% do valor inicial, quando podemos já considerar que ela já está em valores próximos a do interior⁽⁵⁾.

A determinação dos momentos atuantes pode ser feita, com bom grau de precisão, com os ábacos elaborados por Yoder e Witczak⁽⁷⁾. A marcha de cálculos passa a ser a seguinte:

1º Caso: carga no interior da placa

Determinação do momento atuante M_i

- Determina-se inicialmente a área de contato A do pneu e suas dimensões básicas L (comprimento) e W (largura):

$$A = \frac{P_R}{q}, \text{ em cm}^2$$

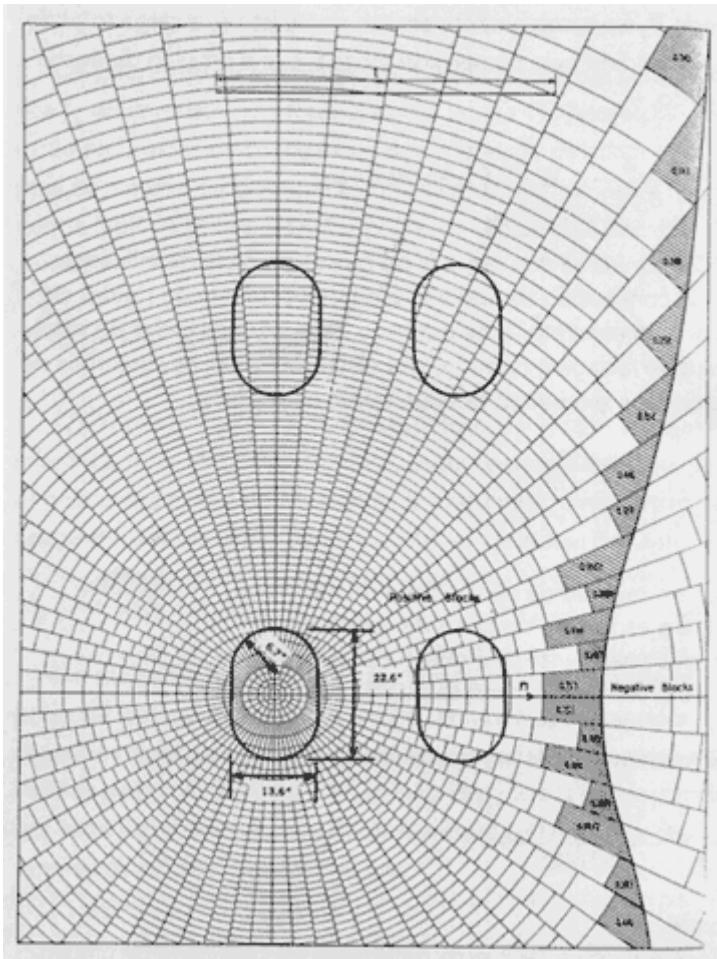


Figura 3: Carta de influência nº 2.

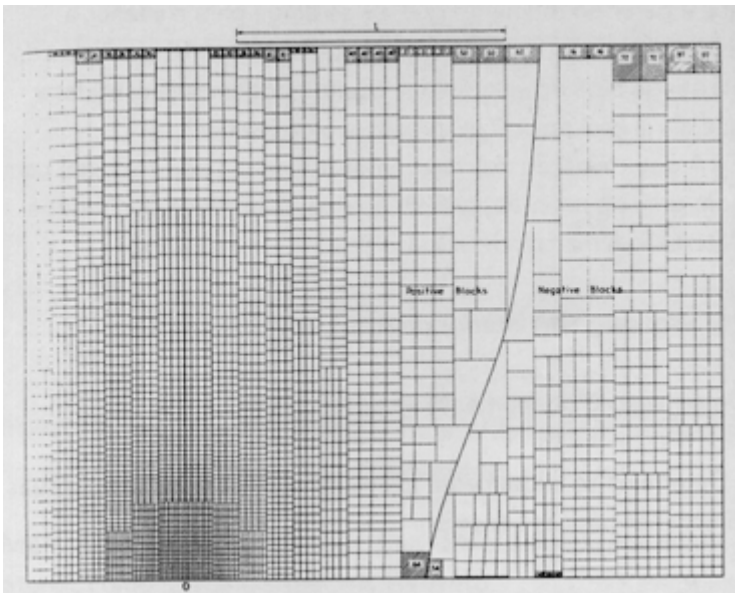


Figura 4: Carta de influência nº 6.

onde P_R é a carga atuante em um pneu, isto é, a carga total do eixo dividida pelo número de rodas e q , é a pressão de enchimento, e

$$L = \sqrt{\frac{A}{0,523}} \quad W = 0,6 L \text{ (ambos em cm)}$$

- Determina-se o número N de blocos da carta de influência nº 2, com auxílio da figura 5, em função do raio de rigidez da placa de concreto, l, da distância entre as duas rodas do semi-eixo de rodagem dupla, x, das distâncias entre os conjuntos de rodas dos semi-eixos tandem duplo ou triplo, d.

$$l = \sqrt[4]{\frac{E \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2) \times k}}$$

- E é o módulo de elasticidade do concreto
- h é a espessura da placa de concreto
- ν é o coeficiente de Poisson do concreto
- k é o coeficiente de recalque da fundação

O momento pode ser determinado pela expressão:

$$M_k = \frac{N \times q \times l^2}{10.000}$$

onde:

- N é o número de blocos determinados pela carta de influência⁽³⁾ nº 2, figura 5

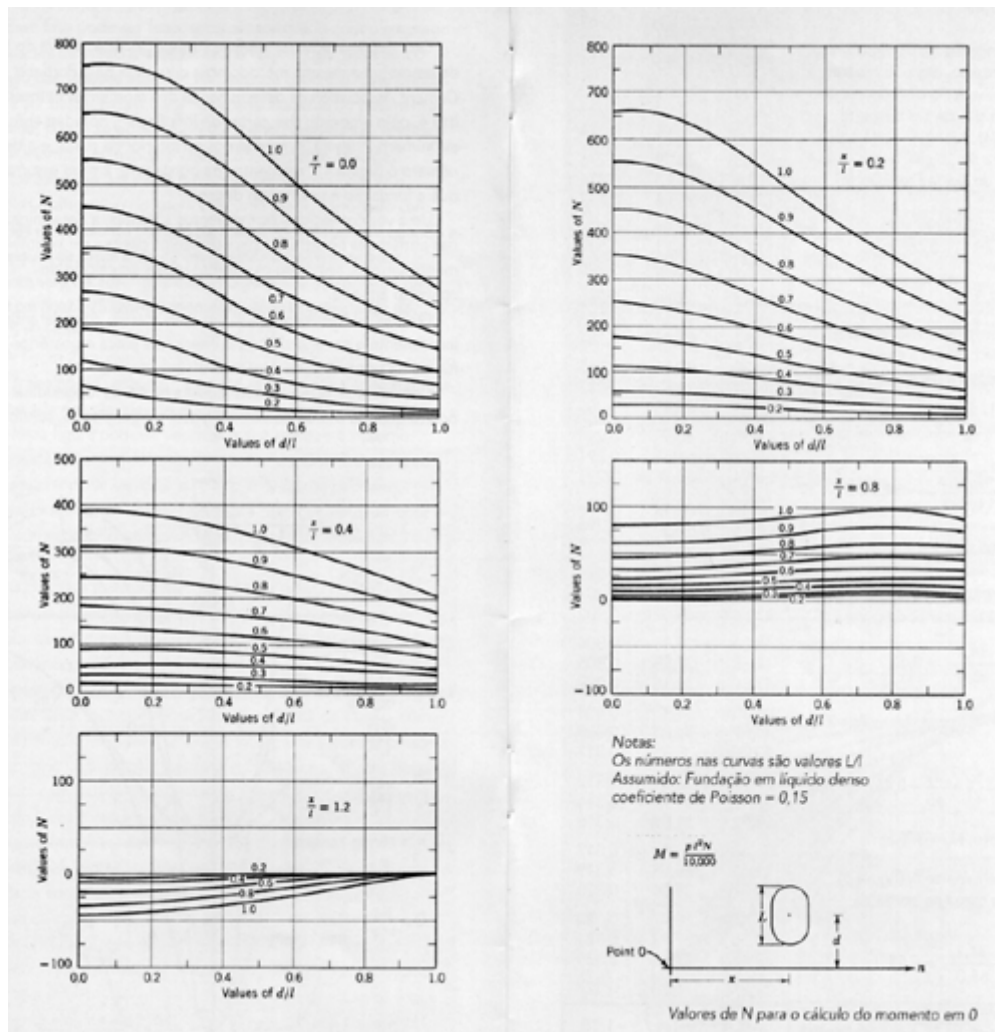


Figura 5: Cálculo do momento no interior da placa (Ref. 7).

- q é a pressão de enchimento do pneu
- l é o raio de rigidez relativo da placa

A determinação da armadura é imediata, com o emprego dos coeficientes adimensionais k_6 e k_3 ⁽⁷⁾:

$$k_6 = \frac{b \times d^2}{M_k}$$

e

$$A_s = k_3 \times \frac{M_k}{d}$$

onde:

- M_k é o momento atuante, sem aplicação de coeficiente de segurança, em tf.cm/m
- b é a largura considerada, geralmente 100cm
- $d = h - 3,0\text{cm}$

- A_S é a área da armadura, geralmente em cm^2/m
- k_3 coeficiente adimensional, fornecido na tabela 1⁽⁷⁾

Os valores de k_3 , em função de k_6 e da resistência característica f_{ck} do concreto, são fornecidos na tabela 1⁽⁷⁾. Nestes, já estão embutidos os coeficientes de segurança, de minoração para os materiais e de majoração para as ações, previstos na norma NBR 6118 Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado.

2º Caso: momento na borda da placa

O momento na borda pode ser determinado com a carta de influência nº 6. Simplificadamente, pode-se considerar que, para as pressões de contato normalmente presentes, o momento de borda é o dobro do momento no interior da placa. Portanto,

$$M_b = 2,0 \times M_i$$

No caso do emprego da carta de influência, o valor de N pode ser determinado com o auxílio da figura 6, seguindo a seguinte rotina de cálculo similar à empregada para a carga no interior da placa. Deve-se considerar a distância d entre as rodas nos semi-eixos de rodagem dupla e x entre os conjuntos dos semi-eixos tandem simples e duplo.

A armadura assim determinada é denominada armadura de borda, devendo ser empregada sempre que houver a possibilidade do carregamento em uma borda livre da placa; entende-se como borda livre a borda desprotegida, isto é, não há placa adjacente com dispositivos de transferência de carga.

Tal condição é observada em rodovias sem acostamento de concreto, em pavimentos urbanos junto ao meio-fio e nas vizinhanças das juntas de expansão. A armadura de borda deve ter cerca de 80cm de largura.

As armaduras determinadas levam em consideração apenas os esforços produzidos pelas cargas externas, não tendo sido consideradas as tensões que se originam pela movimentação da placa em função das variações térmicas, ou mesmo pela retração hidráulica.

Efeito das Variações Térmicas das Placas

Caso se pretenda empregar placas de comprimento superior ao normalmente empregado nas placas de concreto simples, que variam em torno de 5m de comprimento, deve-se adotar armação complementar, posicionada na face superior da placa.

A determinação dessa armadura é feita empregando-se, por exemplo, a drag equation⁽⁸⁾, que podemos escrever, já considerado o concreto com massa específica de 24 kN/m^3 , como:

$$A_s = \frac{f \cdot L \cdot h}{333} \text{ (aço CA-60)}$$

onde:

- L é o comprimento da placa, em metros
- h é a espessura em centímetros
- f é o coeficiente de atrito entre a placa e a sub-base, geralmente tomado entre 1,5 e 2,0

Exemplo

Dimensionar um pavimento rodoviário estruturalmente armado, com as seguintes características:

- Coeficiente de recalque no topo do sistema $k = 60 \text{ MPa/m} = 6,0 \text{ kgf/cm}^2/\text{cm}$
- Concreto armado com aço CA 60, $f_{ck} = 25,0 \text{ MPa}$ e módulo de elasticidade de $30,0 \text{ GPa}$
- Carga máxima em eixo simples: $17,0 \text{ tf}$
- Carga máxima em eixo tandem duplo: $29,0 \text{ tf}$
- Carga máxima do eixo tandem triplo: $36,0 \text{ tf}$

Resolução

Similarmente às estruturas de concreto, deve-se arbitrar a espessura do pavimento; em função das cargas bastante elevadas, recomenda-se a espessura de 16 cm . Neste caso, o raio de rigidez relativo é:

$$\ell = \sqrt[4]{\frac{300.000 \times h^3}{12 \times (1 - 0,15^2) 6,0}} = 65,0$$

Eixo simples

- Determina-se inicialmente a área de contato e suas dimensões básicas:

$$A = \frac{17.000/4}{7} = 607,14 \text{ cm}^2$$

$$L = \sqrt{\frac{607,14}{0,523}} = 34,1 \text{ cm}$$

$$W = 0,6 \times 34 = 20,4 \text{ cm}$$

- Determina-se N (figura 5) para a carga no interior da placa

$$L/\ell = \frac{34,1}{65,0} = 0,52$$

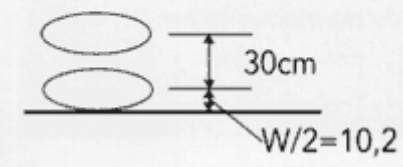
roda 1: $x/\ell = 0$ $N_1 = 275$

roda 2: $x/\ell = \frac{30}{65} = 0,46$ $N_2 = 100$

portanto, $N_T = 375$

- Determina-se N (figura 6) para a carga na borda da placa

$$L/\ell = \frac{34,1}{65,0} = 0,52$$



Valores de k_6 para concreto de f_{ck} igual a:		Valores de k_3 CA-60
25	30	
18.638	15.531	0,269
4.710	3.925	0,270
2.118	1.726	0,271
1.206	1.005	0,272
781,7	651,4	0,273
550,4	458,6	0,274
410,3	341,9	0,275
319,0	265,8	0,276
256,2	213,5	0,277
211,2	176,0	0,278
177,8	148,2	0,279
152,4	127,0	0,280
132,7	110,6	0,282
117,1	97,54	0,283
104,5	87,08	0,284
94,30	78,58	0,285
85,94	71,62	0,287
79,01	65,85	0,288
73,19	60,99	0,290
68,22	56,85	0,291
63,94	53,28	0,293
60,20	50,17	0,294
56,92	47,43	0,296
54,01	45,01	0,298
51,42	42,85	0,299
49,14	40,95	0,301
47,54	39,62	0,302
46,06	38,38	0,304
44,68	37,23	0,305
43,39	36,16	0,307
42,20	35,16	0,308
41,07	34,23	0,309
40,02	33,35	0,311
39,03	32,53	0,312
38,10	31,75	0,314
37,22	31,02	0,316
36,40	30,33	0,317
35,61	29,68	0,319
34,87	29,06	0,320
34,17	28,47	0,322
33,50	27,92	0,324
32,87	27,39	0,325
32,27	26,89	0,327

$\gamma_i=1,4$ / $\gamma_c=1,4$ / $\gamma_s=1,15$

Tabela 1: Valores de k_3

$$M_i = \frac{375 \times 7,0 \times 65,0^2}{10.000} = 1.109,0 \text{ kgf.cm} / \text{cm} = 111,0 \text{ tf.cm} / \text{m}$$

$$M_o = \frac{750 \times 7,0 \times 65,0^2}{10.000} = 2.218,0 \text{ kgf.cm} / \text{cm} = 222,0 \text{ tf.cm} / \text{m}$$

- Cálculo da armadura no interior da placa

$$k_s = \frac{100 \times 16^2}{111} = 230,6$$

portanto (tabela 1): $k_3 = 0,274$

$$A_s = 0,274 \times \frac{111}{13} = 2,34 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

- Cálculo da armadura na borda da placa

$$k_s = \frac{100 \times 16^2}{222} = 115,3$$

portanto (tabela 1): $k_3 = 0,281$

$$A_s = 0,281 \times \frac{222}{13} = 4,8 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Eixo tandem duplo

- Determina-se inicialmente a área de contato e suas dimensões básicas:

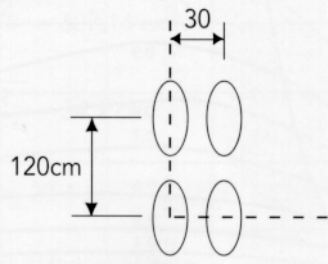
$$A = \frac{29.000 / 8}{7} = 517,86 \text{ cm}^2$$

$$L = \sqrt{\frac{517,86}{0,523}} = 31,5 \text{ cm}$$

$$W = 0,6 \times 31,5 = 18,9 \text{ cm}$$

Determina-se N (figura 5) para a carga no interior da placa:

$$L/\ell = \frac{31,5}{65,0} = 0,48$$



roda 1:

$$\begin{aligned} x/\ell &= 0 \\ d/\ell &= 0 \quad N_1 = 250 \end{aligned}$$

roda 2:

$$\begin{aligned} x/\ell &= \frac{30}{65} = 0,46 \\ d/\ell &= 0 \quad N_2 = 70 \end{aligned}$$

roda 3:

$$\begin{aligned} x/\ell &= 0 \\ d/\ell &= \frac{120}{65} = 1,84 \quad N_3 = 9 \end{aligned}$$

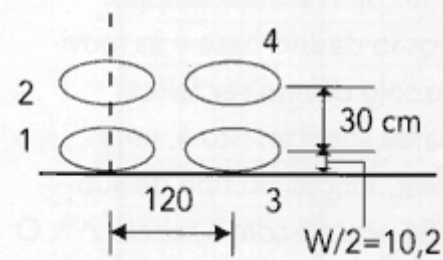
roda 4:

$$\begin{aligned} x/\ell &= \frac{30}{65} = 0,46 \\ d/\ell &= \frac{120}{65} = 1,84 \quad N_4 = 7 \end{aligned}$$

portanto, $N_T = 336$

- Determina-se N (figura 6) para a carga na borda da placa

$$L/\ell = \frac{31,5}{65,0} = 0,48$$



roda 1:

$$x/\ell = 0$$

$$d/\ell = \frac{10}{65} = 0,15 \quad N_1 = 480$$

roda 2:

$$x/\ell = 0$$

$$d/\ell = \frac{30}{65} = 0,46 \quad N_2 = 290$$

roda 3:

$$x/\ell = \frac{120}{65} = 1,84$$

$$d/\ell = \frac{10}{65} = 0,15 \quad N_3 = -55$$

roda 4:

$$x/\ell = \frac{120}{65} = 1,84$$

$$d/\ell = \frac{30}{65} = 0,46 \quad N_4 = -35$$

portanto, $N_T = 680$

- Calcula-se o momento no interior M_i e na borda, M_b , da placa:

$$M_i = \frac{336 \times 7,0 \times 65,0^2}{10.000} = 994,0 \text{ kgf.cm/cm} = 99,4 \text{ tf.cm/m}$$

$$M_b = \frac{680 \times 7,0 \times 65,0^2}{10.000} = 2.011,1 \text{ kgf.cm/cm} = 202,0 \text{ tf.cm/m}$$

- Como os momentos obtidos são inferiores dos referentes aos eixos simples, este é predominante, devendo ser adotada a armadura referente a ele; o mesmo caso observa-se para o eixo tandem triplo.

2.2. Metodologia PABE

Dentro da mesma linha de cálculo seguida pelo PEA, considerada como outra alternativa, também economicamente viável, o pavimento armado com bordas estruturadas⁽¹⁾ (PABE), cuja metodologia da determinação dos momentos atuantes é feita do mesmo modo por meio das cartas de influência.

A diferença básica é que se considera que as cargas no interior da placa serão resistidas apenas pelo concreto, à semelhança dos pavimentos simples empregados, por exemplo em pisos industriais, que são dimensionados pela carta de influência nº 2, havendo apenas a armadura de borda.

Entretanto, para evitar uma provável fissura longitudinal, ao término da armadura de reforço, é recomendável a adoção de armadura complementar.

O dimensionamento do PABE é efetuado inicialmente considerando a carga no centro da placa, determinando-se a espessura, de modo que tenhamos a tensão de trabalho à tração na flexão do concreto (s_{at}) em níveis compatíveis com a fadiga no concreto.

Considera-se que se quando $s_{at} = 0,45f_{ct}M.k$, essa condição é plenamente atendida⁽⁷⁾. A espessura da placa pode ser determinada pela expressão:

$$h = \sqrt{\frac{6 \times M}{\sigma_{at}}}$$

A armadura de borda pode ser determinada de maneira similar ao PEA, empregando-se a carta de influência nº 6.

3. Análise das juntas

As juntas dos pavimentos de concreto revestem-se de especial interesse em função de ser potencialmente o ponto mais fraco do pavimento, estando sujeitas a maiores problemas, tanto no desempenho quanto na execução.

Nos pavimentos armados, o problema pode ser minimizado pela introdução de armaduras de reforço nas juntas, caso uma análise teórica indique essa necessidade. Essa análise pode ser feita com base na Teoria da Elasticidade, em função do diâmetro da barra de transferência, espessura da placa e resistência do concreto, coeficiente de recalque k , conforme demonstram Yoder e Witczak⁽⁶⁾.

Alternativamente, pode-se arbitrar uma determinada capacidade de transferência de carga na junta, menor do que a ideal, e então promover um reforço em uma faixa de pelo menos 50cm de largura. Esse procedimento é recomendável principalmente nas juntas longitudinais do pavimento.

Por exemplo, no caso de uma junta longitudinal dotada de mecanismos de transferência de carga: se estes fossem 100% eficientes, quando a carga tangencia a junta, 50% dos esforços seriam transferidos para a placa contígua e, nesse caso, os esforços atuantes seriam iguais aos que ocorrem no interior da placa.

Nem sempre essa situação acontece, havendo casos em que os mecanismos de transferência não são plenamente eficientes. Isto ocorrendo, deve-se arbitrar uma taxa de eficiência da junta, armando a placa para absorver o restante dos esforços. Esses esforços podem ser tomados como sendo:

$$M_j = M_b \left(1 - \frac{\partial}{200}\right)$$

onde:

M_b é o momento na borda livre da placa

∂ é a eficiência da junta (%)

Portanto, quando a eficiência da junta for 100%, o momento atuante iguala-se ao interior da placa. Na ausência de dados mais específicos, é recomendável considerar a eficiência da junta em 45%; neste caso, o momento atuante nesta será 0,75 M_b .

4. Análise da sub-base

As sub-bases que podem ser empregadas com o pavimento de concreto estruturalmente armados são as mesmas tradicionalmente utilizadas com o pavimento de concreto simples.

As considerações relativas à erosão da sub-base e às movimentações verticais diferenciais do solo devem ser feitas admitindo uma determinada perda de suporte, isto é, uma redução no coeficiente de recalque k , função do tipo de sub-base que está sendo empregada, de acordo com a tabela 2⁽¹⁰⁾. O valor reduzido k_r é determinado com auxílio da figura 7.

**Tabela 2: Perda de suporte da sub-base
(Adaptado da Ref. 10)**

Tipo do Material	Perda de suporte
Concreto compactado com rolo E = 7000 MPa a 14000 MPa	0 a 1
Brita graduada tratada com cimento E = 3500 MPa a 7000 MPa	0 a 1
Bases tratadas com asfalto E = 2500 MPa a 7000 MPa	0 a 1
Misturas estabilizadas com betume E = 280 MPa a 2100 MPa	1 a 3
Solo cal E = 140 MPa a 490 MPa	1 a 3
Base granular E = 100 MPa a 300 MPa	1 a 3
Material fino ou subleito E = 20 MPa a 280 MPa	2 a 3

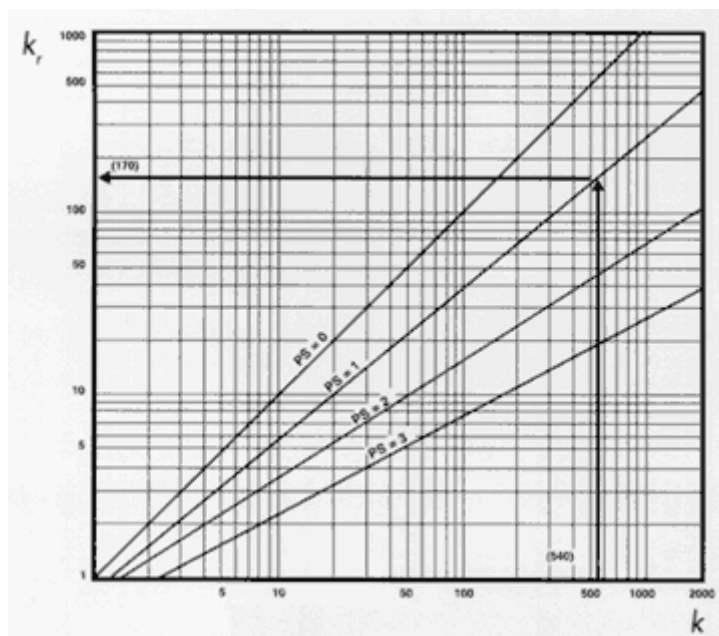


Figura 7: Determinação de k_7 .

Referências bibliográficas

1. Rodrigues, Públio Penna Firme: Pavimentos de Concreto Estruturalmente Armados. In Ibracon - Instituto Brasileiro do Concreto, Anais da 39ª Reibrac, São Paulo (SP), 1997.
2. Pitta, Márcio Rocha: Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários e Urbanos de Concreto pelo Método da PCA/84. 2ª edição, São Paulo, ABCP, 1996.
3. Losberg, Anders: Pavements and Slabs on Grade with Structurally Active Reinforcement. In ACI Journal, dezembro de 1978, páginas 647-657.
4. Pickett, Gerard e Ray, Gordon K.: Influence Charts for Concrete Pavements. In ASCE Proceedings, Abril 1950, páginas 1 a 25.
5. Portland Cement Association: Load Stress at Pavement Edge, a Supplement to Thickness Design for Concrete Pavements. PCA, 1969.
6. Losberg, Anders: Design Methods for Structurally Reinforced Concrete Pavements. In Transactions of Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 1961.
7. Yoder, E. J., Witczak, M.W.: Principles Of Pavement Design. 2ª ed., John Wiley & Sons, Inc, New York.
8. Santos, Lauro M. dos: Cálculo de Concreto Armado Segundo a Nova NB-1 e o CEB. Editora LMS Ltda, Vol. 1, 2ª ed., 1983.
9. Wire Reinforcement Institute: Innovative Ways to Reinforce Slabs-On-Ground. In Tech Facts, WRI, 1996.
10. AASHTO: Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, 1993.

- *Públio Penna Firme Rodrigues é engenheiro civil, mestre em engenharia e diretor da LPE Engenharia e Consultoria.*
- *Márcio Rocha Pitta é Engenheiro civil, Coordenador do Comitê Técnico de Pavimentos de Concreto do IBRACON, diretor da Associação Brasileira de Pavimentação, membro do ACI e assessor técnico da presidência da ABCP*