

Reforço de laje maciça de cobertura, com tecido de fibra de carbono, para apoio de caixa d'água

Edson Elias Matar

Mestre em Engenharia de Estruturas pela EPUSP

Faculdades Oswaldo Cruz - ESCALE Engenharia

Resumo

Com a atual crise hídrica em São Paulo e com os anúncios de rodízio de água premente, os moradores de casas e prédios estão instalando novas caixas d'água em suas residências. A carga devida ao peso da água não se enquadra nos critérios estatísticos adotados nas Normas Brasileiras; trata-se de uma carga real: cada 10 centímetros de altura de água correspondem a um adicional de carga distribuída de 100 kgf/m². As lajes de cobertura, por sua vez, têm espessura da ordem de 5 cm e são armadas para uma sobrecarga de apenas 50 kgf/m². Assim, se a caixa d'água for apoiada diretamente na laje, é necessário um reforço prévio e o mais indicado, por sua praticidade, rapidez e viabilidade econômica, é o reforço com tecido de fibra de carbono. Apresentamos aqui uma estimativa de reforço com esse material para fins de balizamento; para cada caso caberá um cálculo específico.

Abstract

Because of the current water crisis and the announcements of pressing water rotation in São Paulo, people living in both houses and apartments have been installing new water tanks where they live. The load due to the weight of the water does not fall into the statistical criteria adopted in the Brazilian Standards; it is a real load: every 10 centimeters of water height corresponds to an additional distributed load of 100 kgf/m². In turn, cover slabs are about 5 cm thick, and they are reinforced for an overload of only 50kgf/m². Consequently, if the water tank is to be supported directly on the slab, a previous additional reinforcement is necessary, and the most suitable one is the carbon fiber reinforced polymer (CFRP), because it is practical, quick to be made and economical. In this article we present an estimate of CFRP as a delineation; for each case specific calculation is required.

1. Introdução

O reforço em tecido de fibra de carbono (TFC), no Brasil, já vem sendo utilizado largamente em obras para atender acréscimo de sobrecargas em lajes, aberturas em vigas, e lajes ou pilares com resistência do concreto abaixo do valor de projeto, entre outros. A relativa rapidez na execução do reforço, sua pequena espessura e peso e seu custo, cada vez mais competitivo, vêm levando o reforço com TFC a ser o escolhido na maior parte dos casos.

Devido à baixa resistência das lajes de cobertura, a correta instalação de caixas d'água na cobertura de residências requer viga de madeira ou aço para apoiar as mesmas nas vigas de extremidade, poupando a laje. A colocação de caixas d'água adicionais, diretamente

nas lajes de forro, gera um carregamento muito maior que aquele projetado para a laje e, assim, ela precisará de reforço, proposto aqui em TFC.

Adotaremos uma forma hipotética para a laje, uma caixa d'água adicional de 1000 litros, e faremos o cálculo do reforço em TFC. Para cada caso real deve-se efetuar um cálculo específico de reforço.

2. Tecido de fibra de carbono

O TFC utilizado para reforço do concreto armado é unidirecional, colado e impregnado por resina epóxi, e apresenta as seguintes características:

Peso específico do tecido: 300 gf/m³

Espessura do tecido: 0,172 mm

Resistência última da fibra: 3500 MPa

Resistência última do compósito fibra + resina epóxi : 3500 MPa

Módulo da fibra: 266 GPa

Deformação última na ruptura: 13,5 por mil

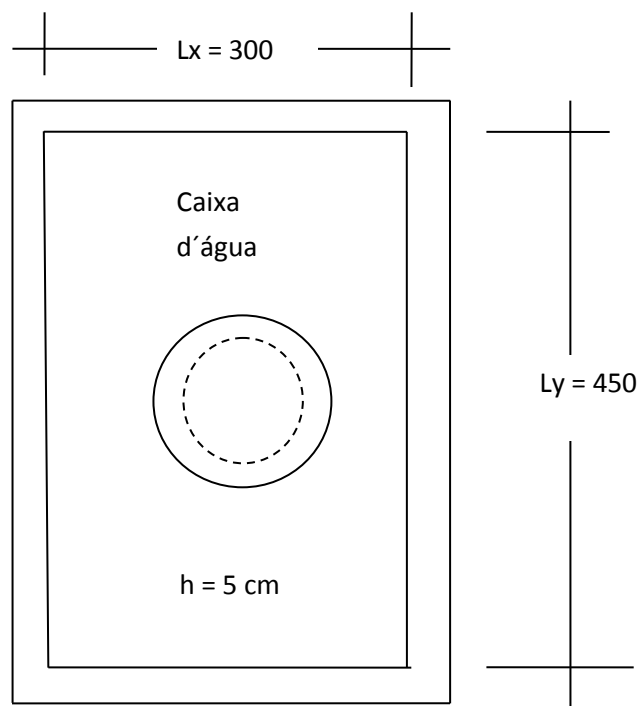
Espessura do compósito (1 camada): 0,38 mm

Módulo do compósito: 125 GPa

O cálculo do reforço (largura e número de camadas) é feito considerando-se os três materiais (concreto, aço e compósito) trabalhando juntos no Estado Limite Último e, por essa razão, a deformação do compósito é limitada em 9,8 por mil, o que abaixa a tensão limite do compósito para 1125 MPa.

3. Forma da laje

Consideremos a seguinte forma hipotética para a laje que irá apoiar a caixa d'água.



4. Esforços na laje

Os esforços na laje serão calculados por Czerny, considerando carga distribuída de peso próprio mais revestimento e carga parcialmente distribuída da caixa.

$$L_y/L_x = 450/300 = 1,5$$

Peso próprio da laje e revestimento (10 cm):

$$p = 2,5 \times 0,05 + 0,100 = 0,225 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{para Kzerny: } k = 0,225 \times 3,0 \times 4,5 = 3,04 \text{ tf}$$

$$m_x = 20,5 \text{ e } m_y = 52,0$$

$$M_{xg} = 3,04/20,5 = 0,15 \text{ tf x m/m}$$

$$M_{yg} = 3,04/52,0 = 0,06 \text{ tf x m/m}$$

Dados da caixa d'água de 1000 litros:

diâmetro da base: 1150 mm

diâmetro máximo: 1440 mm

altura máxima de água: 775 mm

peso da caixa cheia: 1000 kgf

para Kzerny: $K = 1,00 \text{ tf}$; $t_x/L_x = 115/300 = 0,383$ e $t_y/L_y = 115/450 = 0,256$ (média 0,320)

$$M_{xq} = 1,025 \times 3,44 / 20,5 = 0,17$$

$$M_{yq} = 1,025 \times 3,44 / 52,0 = 0,12$$

Momentos fletores totais na laje:

$$M_{xt} = 0,15 + 0,17 = 0,32 \text{ tf x m/m}$$

$$M_{yt} = 0,06 + 0,12 = 0,18 \text{ tf x m/m}$$

5. Estimativa do reforço

Estimaremos os reforços em TFC a serem colados, na face inferior da laje, nas duas direções, na região de apoio da caixa.

Com os esforços, calculamos as armaduras (aço CA50) necessárias em ambas as direções:

$$K_{cx} = 100 \times 3,5 \times 3,5 / 32 = 38 \text{ então } A_{sx} = 0,35 \times 32 / 3,5 = 3,2 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$K_{cy} = 100 \times 3,5 \times 3,5 / 18 = 68 \text{ então } A_{sy} = 0,35 \times 18 / 3,5 = 1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Consideramos que a laje possui, pelo menos, armadura mínima de norma nas duas direções.

$$A_{smin} = 0,15 \times 5 = 0,75 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Sendo a tensão limite no aço CA50 igual a 5000 kgf/cm², teremos os reforços abaixo.

$$\text{Reforço na direção x: } \Delta A_{sx} = 3,2 - 0,75 = 2,45 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$2,45 \times 5000/1,15 = b_{fx} \times 0,038 \times 11250/1,4$$

$$b_{fx} = 34,9 \text{ cm/m}$$

Adotaremos TFC $b_f = 5 \text{ cm c/ } 15$ (33,33 cm/m 4,7 % a mais, aceitável)

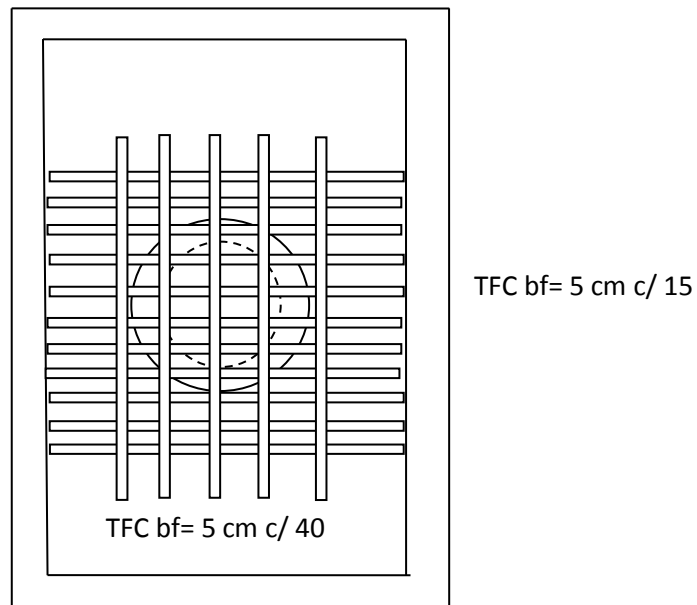
$$\text{Reforço na direção y: } \Delta A_{sy} = 1,5 - 0,75 = 0,75 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$0,75 \times 5000/1,15 = b_{fy} \times 0,038 \times 11250/1,4$$

$b_{fy} = 10,7 \text{ cm/m}$

Adotaremos TFC $b_f = 5 \text{ cm c/ 40}$ (12,50 cm/m)

CROQUI DO REFORÇO EM TFC



6. Conclusão

Esse artigo mostrou, então, ser viável o reforço de lajes maciças, que foram projetadas para ser coberturas, visando ao apoio direto de caixas d'água de até 1000 litros. Vale observar que o reforço em tecido de fibra de carbono, aqui estimado, deve ser aplicado na face inferior da laje antes do enchimento da caixa; caso a caixa esteja cheia, será necessário esvaziá-la, aplicar o reforço e, apenas após a cura da resina, que leva três dias, voltar a encher a caixa. O cálculo apresentado neste artigo é apenas estimativo e serviu para mostrar a viabilidade do método de reforço. Para cada caso em particular caberá cálculo específico no qual também devem ser verificadas as vigas.