

Desenvolvimento de software de análise, dimensionamento e verificação de lajes retangulares de concreto armado

Aaron Farah Nolasco, Ana Waldila de Queiroz Ramiro Reis, Rodrigo Bird Burgos

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Rua São Francisco Xavier 524, Maracanã, CEP 20550-900, Rio de Janeiro RJ, Brasil

aaronfarahnolasco@gmail.com, anawaldila@hotmail.com, rburgos@eng.uerj.br

Abstract. The progress of theoretical knowledge and computational technology has enabled the development of several methods for the analysis and design of structures. Reinforced concrete is still widely used today in several structures, from bridges to buildings. Even in so-called composite structures (steel-concrete), slabs in reinforced concrete are still used, since the material is the best choice in terms of plate behavior. In this way, the design of slabs is still a current issue, and this procedure must guarantee that the final structure is safe from both the ULS (Ultimate Limit State) and SLS (Service Limit State) points of view. In the context of slabs design and to assist civil engineering students and newly graduated engineers, this work presents the development of computer software for the design of reinforced concrete slabs, based on Visual Basic programming language for the Windows operating system. This software uses design tables for obtaining internal forces in thin plates (Kirchhoff theory), allows the design and verification of reinforced concrete two-way slabs in a fast and practical way. Such implementations are confronted with classical examples, in order to prove the validity of the results obtained by the software. Finally, the user can export these solutions to a text document, so that it can be easily interpreted and manipulated. It should be noted that the design and verification procedures implemented in the software are in accordance with criteria established by the Brazilian Standard NBR 6118:2014.

Keywords: slabs, thin plates, reinforced concrete, software.

1 Introdução

O concreto armado se consolidou como um dos materiais mais importantes no pertinente à construção civil. Com seu uso extensivo em obras de pequeno a grande porte, torna-se de extrema importância o correto cálculo e dimensionamento de seus elementos, visando atender as condições de segurança necessárias, além das demandas de mercado, onde são exigidas eficiência na construção e economia de materiais.

Dentre os elementos que constituem uma estrutura, as lajes maciças de concreto armado são amplamente utilizadas, visando o aproveitamento do seu comportamento de placa, fornecendo auxílio na rigidez geral da estrutura. Deste modo, o dimensionamento e verificação de acordo com as exigências normativas para o Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS) devem ser devidamente realizados.

O avanço computacional permitiu a criação de diversas ferramentas de cálculo e verificação que possibilita o profissional a executar projetos com segurança e eficiência. Dentro deste contexto, com o intuito de auxiliar estudantes de graduação e engenheiros, o software CalcLajes pretende de forma rápida e dinâmica realizar o dimensionamento e verificação de lajes retangulares maciças de concreto armado, de acordo com as prescrições da norma brasileira NBR 6118:2014. Escrito na linguagem *Visual Basic* e desenvolvido no ambiente *Visual Studio*, para o sistema operacional *Windows*, o CalcLajes apresenta uma interface intuitiva para inserção dos dados e verificação dos resultados.

2 Metodologia

O dimensionamento de lajes retangulares maciças de concreto armado requer características físico-geométricas da estrutura e de seus materiais, tais como: dimensões da placa, condições de contorno, propriedades do concreto e do aço e definição das cargas atuantes. O objetivo deste dimensionamento corresponde à obtenção das armaduras longitudinais, verificação das flechas e verificação quanto aos esforços cisalhantes.

2.1 Geometria e condições de contorno

A definição da geometria da placa inicia-se na concepção estrutural, onde é realizado o pré-dimensionamento do elemento. Para lajes de concreto, diversos métodos de pré-dimensionamento foram propostos, dentre eles o de Bastos [1], onde é sugerida uma equação para determinação da altura da laje, conforme:

$$h = d + \frac{\phi_l}{2} + c, \quad (1)$$

onde h é a espessura total da laje; d é a altura útil da laje, podendo ser estimada, de acordo com Pinheiro [2], com os critérios adotados pela NBR 6118:1980 [3]; ϕ_l é o diâmetro da armadura adotada e c é o cobrimento considerado, definido de acordo com o item 7.4 da NBR 6118:2014 [4]. Para o caso da armadura, segundo Bastos [1], é comum adotar um diâmetro de 10mm.

Torna-se importante salientar que é necessário verificar as alturas mínimas estabelecidas pela NBR 6118:2014 [4] em seu item 13.2.4.1. A partir da altura, as dimensões dos vãos efetivos são calculadas de acordo com o item 14.7.2.2 da NBR 6118:2014 [4]. Desta forma, são definidas as direções principais da laje. Segundo Bastos [1], o menor vão é denominado l_x e o maior l_y . Com estes valores, utilizando a eq. (2), pode-se calcular o valor de λ .

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} \quad (2)$$

Esta relação é útil para classificar a laje entre armada em uma direção ou armada em duas direções. O primeiro caso é definido quando $\lambda > 2$ e assim, de acordo com Araújo [5], a análise dos esforços é comumente simplificada a favor da segurança. Deste modo, a laje é considerada formada por faixas unitárias no sentido do menor vão, sendo calculadas como vigas. O segundo caso é definido quando $\lambda \leq 2$ e, nessa situação, os momentos fletores são igualmente importantes, devendo ser calculadas as armaduras referentes a ambas as direções.

Finalmente, devem ser definidas as vinculações das bordas da laje, onde geralmente são denominadas bordas engastadas ou bordas apoiadas. Diante disto, Pinheiro [2] e Bastos [1] classificam os casos de vinculação de acordo com a Fig. 1, onde cada caso recebe um número de referência que é utilizado para auxiliar no cálculo dos esforços na placa, juntamente com o valor de λ característico da placa em questão.

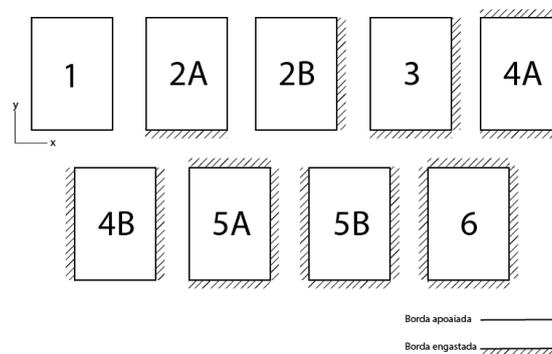


Figura 1. Principais casos de vinculação de lajes retangulares. Fonte: Bastos [1], adaptado.

2.2 Materiais

As propriedades do concreto e da armadura passiva são extensivamente descritas na norma NBR 6118:2014 [4]. Para lajes de concreto deve-se observar as seguintes propriedades do concreto presentes em tal norma: adoção de concretos de classe igual ou superior a C20; escolha da classe de agressividade ambiental adequada; definição da massa específica do concreto; determinação da resistência característica a compressão do concreto; determinação da resistência característica a tração do concreto; determinação do módulo de elasticidade secante e a escolha do coeficiente de Poisson. E para a armadura passiva, suas propriedades principais são: escolha da categoria; módulo de elasticidade e diagrama tensão-deformação, resistência ao escoamento.

2.3 Ações atuantes e combinações de ações

A NBR 8681:2004 [7] classifica as ações como: ações permanentes, que atuam de forma praticamente constante durante a vida útil da estrutura; ações variáveis, que correspondem a cargas de uso da estrutura e ações excepcionais, que são de curta duração e ocorrem raramente.

Para lajes de concreto armado, devem ser avaliadas as combinações do tipo estado limite último normais (item 11.8.2.4 da NBR 6118:2014 [4]), que será utilizada para o cálculo das armaduras longitudinais e verificação do esforço cortante; estado limite de serviço quase permanente (item 11.8.3.2 da NBR 6118:2014 [4]), para a avaliação do estado-limite de deformações excessivas e o estado limite de serviço rara, para verificar o estado-limite de formação de fissuras.

2.4 Esforços solicitantes

O cálculo dos esforços em placas, consideradas neste estudo, é baseado na teoria de Kirchhoff, correspondendo aos resultados numéricos de uma equação diferencial. Entretanto, sua resolução exige procedimentos matemáticos complexos e sua solução exata só pode ser obtida para um pequeno número de casos particulares (Araújo [5]). Para os demais casos, soluções aproximadas devem ser adotadas.

Bares [8] desenvolveu tabelas baseadas em soluções aproximadas da equação da placa para diversos casos de carregamento e vinculações. Pinheiro [2] adapta as tabelas desenvolvidas por Bares [8] para os casos de vinculação apresentados na fig. 1 e utiliza o coeficiente λ como principal propriedade para consulta em suas tabelas, além de considerar o coeficiente de Poisson como 0,15. Carvalho [9] adapta as tabelas de Pinheiro [2] de momentos fletores para utilizar o coeficiente de Poisson de 0,2 como demanda a NBR 6118:2014 [4] no seu item 8.2.9, cuja aplicação é dada por:

$$M = \mu \left(\frac{p \cdot l_x^2}{100} \right), \quad (3)$$

onde M é o momento fletor (kN.m/m); μ é um coeficiente tabelado, de acordo com cada tipo de vinculação e em função de λ ; p é o valor da carga uniforme ou triangular atuante na laje (kN/m²) e l_x é o menor vão da laje, em metros.

O cálculo dos esforços cortantes pode ser feito como indica o item 14.7.6.1 da NBR 6118:2014 [4]. Pinheiro [2] desenvolveu uma tabela com base nesta indicação, utilizando a teoria das linhas de ruptura para obter as reações de apoio de lajes retangulares. As tabelas são organizadas de forma semelhante às de momento fletor, organizada em função dos casos de vinculação apresentados na fig. 1 e utiliza o coeficiente λ como principal propriedade para consulta. Os esforços cortantes podem ser calculados de acordo com:

$$V = \nu \left(\frac{p \cdot l_x^2}{10} \right), \quad (4)$$

onde V é a reação de apoio (kN/m); ν é um coeficiente tabelado, de acordo com cada tipo de vinculação e em função de λ ; p é o valor da carga uniforme ou triangular atuante na laje (kN/m²) e l_x é o menor vão da laje, em metros.

2.5 Armaduras longitudinais

O dimensionamento das armaduras longitudinais deve considerar as hipóteses básicas gerais expostas no item 17.2 e as específicas para lajes no item 14.7.1 da NBR 6118:2014 [4]. Este deve ser feito baseado nos esforços gerados pela combinação de ações de Estado Limite Último (ELU). Ainda é necessário garantir boas condições de ductilidade respeitando o limite da posição da linha neutra determinados nos itens 14.6.4 e 14.6.4.3 da NBR 6118:2014 [4]. Além disto, as armaduras devem respeitar as exigências quanto armaduras mínimas expostas no item 17.3.5.2 da NBR 6118:2014 [4].

Determinados os momentos fletores atuantes, o cálculo das armaduras longitudinais é semelhante ao de vigas, onde são tomadas faixas unitárias em cada uma das direções principais. O cálculo pode ser realizado pelo equilíbrio da seção mais solicitada, determinando a profundidade da linha neutra, conforme a eq. (6) a seguir. A partir deste valor, verifica-se o domínio da seção e estando ela entre dos domínios 2 e 3, a armadura pode ser calculada pela eq. (7).

$$x = \left(1,25 - \sqrt{1,565 - 3,67647 \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) \cdot d \quad (5)$$

$$A_s = \frac{M_d}{(d - 0,4x) \cdot f_{yd}} \quad (6)$$

Na eq. (5), M_d é momento fletor de cálculo (por unidade de largura); b é largura da seção (para lajes é considerada geralmente de 1m); f_{cd} é resistência a compressão de cálculo do concreto de cálculo e d é altura útil da seção. Na eq. (6), A_s é área de armadura necessária (por unidade de largura) e f_{yd} é a tensão de escoamento de cálculo do aço utilizado.

2.6 Verificação de flechas

As lajes de concreto armado devem respeitar os limites de deslocamento máximos impostos pela NBR 6118:2014 [4] no seu item 13.3. Os limites geralmente verificados para lajes maciças usuais dizem respeito a acessibilidade sensorial. Como prescrito no item 17.3.2 da NBR 6118:2014 [4], a avaliação dos limites deve ser baseada nos deslocamentos gerados pelas combinações de limite de serviço estabelecidas. Também é estabelecido que a análise dos deslocamentos deve levar em conta a presença de armadura na seção, a fissuração e deformação lenta ou fluência do concreto.

A consideração acerca da fissuração da seção pode ser feita de uma forma aproximada utilizando a expressão de rigidez equivalente apresentada no item 17.3.2.1.1 da NBR 6118:2014 [4]. A aplicação de uma rigidez equivalente é dispensada quando o momento gerado pela combinação rara de carregamentos é inferior ao momento de fissuração.

Já o efeito da fluência do concreto pode ser considerado multiplicando-se a flecha imediata pelo fator aproximado pela expressão apresentada no item 17.3.2.1.2 da NBR 6118:2014 [4].

Com relação à flecha imediata, Carvalho [9] adapta as tabelas de Pinheiro [2] para o cálculo com o coeficiente de Poisson de 0,2. Deste modo com o auxílio das tabelas de Pinheiro [2] ou Carvalho [9], pode-se calcular a flecha imediata por:

$$\alpha_i = \frac{\alpha}{100} \frac{b}{12} \frac{p \cdot l_x^4}{EI}, \quad (7)$$

onde: α_i é o valor da flecha imediata; α é um coeficiente tabelado para cada caso de vinculação (condições de contorno) e valor de λ ; p é o carregamento gerado pela combinação de carregamentos quase permanente e EI é a rigidez da seção (considerando apenas o concreto).

2.7 Força cortante

Com os valores das forças cortantes calculados, utilizando as combinações de estado limite último, deve-se verificar a necessidade da aplicação de armaduras transversais utilizando as equações expostas no item 19.4 da NBR 6118:2014 [4].

3 O software CalcLajes

O software CalcLajes, desenvolvido para o ambiente Windows, realiza o dimensionamento de lajes maciças de concreto armado armadas em duas direções com base nas tabelas clássicas baseadas na teoria das placas delgadas (Kirchhoff) desenvolvidas por Bares [8], adaptadas por Pinheiro [2] e Carvalho [9], utilizando os critérios de verificação e dimensionamento exigidos pela norma brasileira NBR 6118:2014 [4] de acordo com a metodologia proposta por Bastos [1].

O software se inicia na Tela Principal e observa-se a seção de “Dados Gerais”, onde são inseridas as informações relativas à geometria da placa, materiais, carregamentos e flechas limites. Na seção “Vinculações” o usuário pode escolher o tipo de vinculação das bordas da placa através das caixas de seleção, onde a linha simples representa a borda com apoio simples e a linha hachurada representa a borda engastada, podendo-se obter qualquer uma das combinações presentes na Fig. 1.

Os dados gerais de entrada necessários são: Nome da laje, onde deve ser preenchida a identificação da laje, a título de organização do usuário; l_x (m), onde deve ser preenchido o menor vão da laje, em metros; l_y (m), onde deve ser preenchido o maior vão da laje, em metros; Caso de Vinculação, onde o será demonstrado o caso de vinculação determinado automaticamente pelo software; Altura (cm), onde deve ser preenchida a altura estimada ou desejada da laje, em centímetros, e se marcada a opção “Determinar altura?”, o software realizará o cálculo da altura necessária; f_{ck} (MPa), onde deve ser escolhido a resistência característica a compressão do concreto, em MPa; f_{yk} (kN/cm²), onde deve ser escolhida a resistência característica ao escoamento do aço, em kN/cm²; Cobrimento (cm), onde deve ser preenchido o cobrimento da peça de acordo com a NBR 6118:2014 [4]; Coeficiente de Poisson, onde deve ser escolhido o coeficiente de poisson a ser utilizado no cálculo dos esforços; Cargas Acidentais (kN/m²), onde deve ser preenchido o valor das cargas acidentais, em kN/m²; Cargas Permanentes (kN/m²), onde deve ser preenchido o valor das cargas permanentes (exceto o peso próprio), em kN/m²; Ψ_2 , onde deve ser escolhido o fator de redução de combinação quase permanente; Combinação Quase Permanente, onde deve ser preenchido o denominador da fração que determina o valor da flecha limite para deslocamentos visíveis; Carga acidental, onde deve ser preenchido o denominador da fração que determina o valor da flecha limite para vibrações sentidas e t_0 (mês), onde deve ser preenchido a idade relativa à data de aplicação das cargas de longa duração, em meses.

Ainda na tela principal, existe a barra de ferramentas com as opções de manipulação de arquivos, opções de cálculo e informações de software. Na aba “Arquivo”, tem-se as opções de salvar um arquivo com os dados iniciais preenchidos na tela inicial em um arquivo “.cljs” e também a opção de carregar um arquivo .cljs anterior. A aba Ferramentas possui o item “Opções” onde existem algumas opções de cálculo que podem ser ativadas ou desativadas de acordo com a metodologia adotada pelo o usuário. Já a aba “Ajuda”, possui o item “Sobre”, onde é mostrada uma janela com informações dos autores do projeto.

Com todos os campos preenchidos, o usuário pode iniciar o cálculo clicando no botão “Calcular”. Se todos os dados forem preenchidos da forma correta e o dimensionamento passar em todas as verificações, o usuário recebe uma mensagem de sucesso, caso contrário, o software retornará uma mensagem de erro especificando onde este ocorreu. Após a mensagem de sucesso, o usuário será direcionado à tela de resultados, onde serão expostas todas as informações resultantes do dimensionamento e verificação.

Os resultados estão organizados nas abas: Geometria e Carregamentos, onde são apresentadas as características geométricas finais da laje, resumo das propriedades dos materiais, cargas e combinações de carregamentos; Armaduras Longitudinais (ELU), onde são apresentados os momentos fletores, armaduras necessárias, armaduras mínimas e limitações construtivas e armaduras efetivas; Flechas (ELS), onde são apresentados os resultados referentes ao cálculo da flecha elástica e a comparação com a flecha limite; Reações de Apoio e Cisalhamento, onde são apresentadas as reações de apoio e os resultados da verificação ao cisalhamento. Estando satisfeito com os resultados, o usuário pode exportá-los para um documento de texto editável clicando no botão “Exportar”.

4 Validação do software

Para fim de validação dos resultados obtidos pelo software, estes foram confrontados com os cálculos manuais de exemplos de dimensionamento e verificação realizados por Bastos [1] a partir da planta baixa de um pavimento de um edifício residencial desenvolvida pelo próprio autor. Foram analisados os exemplos referentes a lajes maciças retangulares de concreto armado armadas em cruz. A título de exemplo, a fig. 2 apresenta os dados iniciais das lajes L3 e a figura 3 os principais resultados obtidos pelo software.

De acordo com os exemplos de Bastos [1], para todos os casos, foi adotado concreto C25 com agregado graúdo do tipo brita 1 de granito; aço tipo CA-50; classe de agressividade ambiental CAA-II; coeficiente de Poisson de 0,15; cargas acidentais no valor de 1,50 kN/m²; fator de redução de combinação quase permanente de 0,3; idade relativa à data de aplicação da carga de longa duração de 1 mês; limites de para deslocamentos para efeitos de aceitabilidade sensorial para deslocamentos visíveis e vibrações sentidas; método para cálculo da armaduras longitudinais pelas tabelas kc/ks; a escolha da utilização da altura útil estimada para todo o dimensionamento e desconto no cobrimento nominal da face superior da laje de acordo com a nota b da tabela 7.2 da NBR 6118:2014 [4] de 0,5 cm.

Ao observar os resultados obtidos, conclui-se que existe uma concordância entre os resultados obtidos por Bastos [1] e pelo software *CalcLajes*. Apesar dos resultados serem praticamente idênticos, um exemplo de divergência entre o software e a referência pode ser encontrado no cálculo das armaduras necessárias da laje L3, onde a armadura negativa na direção y, no cálculo realizado pelo software de 5,29 cm²/m, difere do cálculo de Bastos [1] de 5,30 cm²/m, apesar de tal diferença ser desprezível. A diferença pode ser atribuída ao fato de o software não realizar arredondamentos nos seus cálculos, sendo utilizada a precisão dupla (*double*) em todas as operações aritméticas.

The image shows the 'CalcLajes' software interface. The window title is 'λ CalcLajes'. The menu bar includes 'Arquivo', 'Ferramentas', and 'Ajuda'. The main area is divided into two panels: 'Dados Gerais' and 'Vinculações'.
Dados Gerais:
- **Geometria:** Nome da laje: L3; lx (m): 5,86; ly (m): 6,56; Caso: 3; Altura (cm): 13,00. There is a checkbox 'Determinar altura?' which is unchecked.
- **Materiais:** fck (MPa): 25; fyk (kN/cm²): 50; Cobrimento (cm): 2,00; Coef. de Poisson: 0,15.
- **Carregamentos:** Cargas Acidentais (kN/m²): 1,50; Cargas Permanentes (kN/m²): 1,83; Ψ_2 : 0,3.
- **Flechas Limite:** Combinação Quase Permanente: lx/ 250; Carga acidental: lx/ 350; t0 (mês): 1.
Vinculações: A diagram of a rectangular slab labeled 'L3' is shown. The dimensions are 6,56 m by 5,86 m. A coordinate system with x and y axes is centered on the slab. Checkmarks are present in the corners of the slab diagram, indicating boundary conditions. A 'Calcular...' button is located at the bottom right of the interface.

Figura 2. Dados Iniciais, laje L3.

λ CalcLajes - Resultados

Geometria e Carregamentos | Armaduras Longitudinais (ELU) | Flechas (ELS) | Reações de Apoio e Cisalhamento

MOMENTOS FLETORES

Coefficientes: μ_x : 3,19 μ_x' : 7,87 μ_y : 2,67 μ_y' : 7,36

Momentos Característicos: M_x (kNm/m): 7,21 M_x' (kNm/m): 17,78 M_y (kNm/m): 6,03 M_y' (kNm/m): 16,63

Momentos de Cálculo: $M_{sd,x}$ (kNm/m): 10,09 $M_{sd,x}'$ (kNm/m): 24,89 $M_{sd,y}$ (kNm/m): 8,44 $M_{sd,y}'$ (kNm/m): 23,28

Visualizar...

ARMADURAS MÍNIMAS E LIMITAÇÕES CONSTRUTIVAS

Armaduras Mínimas: $As_{x,min}$ (cm²/m): 1,31 $As_{x',min}$ (cm²/m): 1,95 $As_{y,min}$ (cm²/m): 1,31 $As_{y',min}$ (cm²/m): 1,95

Dimensões máximas: Espaçamento máximo (cm): 20 Diâmetro máximo da armadura (mm): 16,25

ARMADURAS NECESSÁRIAS:

Armaduras necessárias e deformações:

	M_{sd} (kNm/m)	KMD	KX	KZ	ϵ_{cd} (‰)	ϵ_{sd} (‰)	As (cm ²)	Domínio
▶	10,09	0,051	0,077	0,969	-0,83	10	2,31	Domínio 2
	24,89	0,115	0,182	0,927	-2,22	10	5,66	Domínio 2
	8,44	0,043	0,064	0,975	-0,68	10	1,93	Domínio 2
	23,28	0,108	0,169	0,932	-2,03	10	5,29	Domínio 2

ARMADURAS EFETIVAS:

Áreas efetivas: $As_{x,adot}$ (cm²/m): 2,42 $As_{x',adot}$ (cm²/m): 5,88 $As_{y,adot}$ (cm²/m): 1,97 $As_{y',adot}$ (cm²/m): 5,56

Diâmetros adotados: Φ (mm): 6,30 8,00 6,30 8,00

Espaçamentos: s (cm): 13 8,5 16 9

Editar armaduras/espaçamentos Reavaliar verificações

Exportar... Ok...

Figura 3. Tela de Resultados da laje L3: Aba “Armaduras Longitudinais” (ELU).

5 Conclusão

Este artigo teve como objetivo apresentar o software computacional *CalcLajes* que realiza o dimensionamento e verificação de lajes retangulares de concreto armado em duas direções visando o auxílio a estudantes de engenharia e engenheiros a realizar o procedimento com rapidez e segurança. O software baseia-se na metodologia apresentada por Bastos [1] e apresenta opções de cálculo para possibilitar o usuário adaptar o uso do software a outras metodologias.

Em relação à validação dos dados, percebe-se poucas diferenças entre os resultados obtidos pelo software e os pela metodologia adotada por Bastos [1] onde o programa foi capaz de reproduzir os resultados da referência apenas apresentando pequenas variações devido à maior precisão do software na execução das operações aritméticas, não necessitando recorrer ao uso de arredondamentos nos cálculos.

Finalmente, é sugerida a expansão das funcionalidades do software para o cálculo de lajes armadas em uma direção, realização da compatibilização de momentos fletores entre duas ou mais lajes e o cálculo de lajes não retangulares.

Referências

- [1] BASTOS, P. S. S. *Notas de Aula, Lajes de Concreto Armado*. Bauru, Universidade Estadual Paulista – UNESP, São Paulo, Brasil, 2015.
- [2] PINHEIRO, L. M. *Concreto armado: tabelas e ábacos*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Paulo, Brasil, 1994.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6118:1980: projeto e execução de estruturas de concreto armado*. Rio de Janeiro, Brasil, 1980.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6118:2014: projeto de estruturas de concreto - procedimento*. Rio de Janeiro, Brasil, 2014.
- [5] ARAÚJO, J. M. *Curso de Concreto Armado – Volume 2, 3ª Ed*. Editora Dunas. Rio Grande do Sul, Brasil, 2010.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6120:2019: Ações para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro, Brasil, 2019. (Versão Corrigida: 2019)
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 8681:2004: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento*. Rio de Janeiro, Brasil, 2004.
- [8] BARES, R. *Tablas para el cálculo de placa y vigas pared*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1972.
- [9] Carvalho, R. C. *Cálculo e detalhamento de estruturas usais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014, 4ª Ed*. EdUFSCar, São Paulo, Brasil, 2014.