



ELABORAÇÃO DE UM SOFTWARE DE DIMENSIONAMENTO PARA LAJE DE CONCRETO ARMADO CONFORME A NBR 6118:2014

Development of software for the design of reinforced concrete slabs according to NBR 6118:2014

Leidiane Amorim Costa (1) (P); Carlos Henrique Hernandorena Viegas (2); Márcio Wrague Moura (3); Mauro de Vasconcellos Real (4)

- (1) Engenheira Civil, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande - RS, Brasil.
 - (2) Me. Prof., Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande - RS, Brasil.
 - (3) Me. Prof., Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande - RS, Brasil.
 - (4) Dr. Prof., Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande - RS, Brasil
- Email para Correspondência: leidiane.amorim@live.com; (P) Apresentador

Resumo: As lajes de concreto armado são elementos estruturais laminares planos, caracterizados por estarem sujeitos predominantemente a solicitações normais ao seu plano médio. Neste tipo de estrutura plana, duas dimensões são predominantes, sendo o comprimento e largura, sobre uma terceira dimensão que é a espessura. Transmitem as cargas do piso para as vigas, que por sua vez as transmitem aos pilares, através dos quais as cargas são transmitidas às fundações, e por fim ao solo. O presente trabalho tem como objetivo automatizar e sistematizar o dimensionamento de uma laje de concreto armado, de acordo com a proposta pela norma NBR 6118:2014. Através da elaboração de um software que, por meio dos parâmetros iniciais definidos pelo usuário, satisfaça o Estado Limite Último (ELU) e o Estado Limite de Serviço (ELS). A metodologia do trabalho consiste no desenvolvimento do algoritmo através da linguagem de programação Visual Basic, e está delimitada ao estudo e desenvolvimento de uma ferramenta computacional que faça o dimensionamento e detalhamento de lajes maciças em concreto armado, com geometria retangular e carregamento composto unicamente por cargas uniformemente distribuídas, sendo utilizada a teoria de flexão de placas para lajes armadas em duas direções e a teoria de flexão de vigas para lajes armadas em uma direção. Como resultado, serão apresentados o dimensionamento da armadura da laje e uma proposta para o seu detalhamento, juntamente com os esforços a que a estrutura está submetida.

Palavras chaves: laje; concreto armado; Visual Basic.



Abstract: The slabs are flat laminar structural elements, characterized by being predominantly subjected to normal demands on their median plane. In this type of flat structure, two dimensions are predominant (length and width), on a third dimension that is the thickness. They transmit the loads from the floor to the beams, in its turn transmit them to the pillars, through which the loads are transmitted to the foundations, and finally to the ground. The present work has as object to automatize and systematize the design of a reinforced concrete slab, according to the proposal by the standard NBR 6118:2014. Through the elaboration of software that, by means of the initial parameters defined by the user, satisfies the Ultimate Limit State (ULS) and the State Service Limit (SSL). The work methodology consists of the development of the algorithm through the Visual Basic programming language, and it is limited to the study and development of a computational tool, which makes the sizing and detailing of slabs in reinforced concrete, considering only solid slabs, with rectangular geometry and composite loading only by uniformly distributed loads. Being used the theory of bending of plates for two-way armed slabs and the theory of bending of beams for one-armed slabs in on direction. As a result, the design of the slab reinforcement and a proposal for its detailing will be presented along with the efforts to which the structure is subject.

Keywords: *slab; reinforced concrete; Visual Basic.*



1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, temos vivenciado um avanço considerável no que diz respeito à evolução dos sistemas computacionais. Desta forma, a informática está cada vez mais aperfeiçoando a Engenharia de Estruturas. Com isso, fica evidente a importância de ensinar e preparar os alunos do curso de Engenharia Civil desenvolver, manipular e analisar estruturas de concreto armado com a utilização de softwares destinados para isso. (KIMURA, 2007). No entanto, o custo elevado dos softwares desenvolvidos para o dimensionamento de estruturas de concreto armado acaba por muitas vezes distanciar os alunos de Engenharia civil dos mesmos. Desta forma, o objetivo deste trabalho é desenvolver através de uma rotina computacional, um programa capaz de dimensionar lajes maciças de concreto armado, submetidas a um carregamento uniformemente distribuído, com a opção para bordos apoiados, engastados e livres, através da norma NBR 6118:2014. Como ferramenta computacional, foi utilizado o software Visual Basic, desenvolvido para compilar aplicações orientadas a objeto, possibilitando a utilização do software em ambiente Windows através de uma interface gráfica muito prática e acessível. A partir da eficácia do programa, ele poderá ser distribuído para os alunos de Engenharia Civil estudarem tanto a programação desenvolvida, como a utilização do mesmo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Araújo (2014), as lajes são elementos estruturais que têm a função básica de receber as cargas de utilização das edificações, aplicadas nos pisos, e transmiti-las às vigas. As vigas transmitem as cargas aos pilares e, a partir destes, o carregamento é transferido para as fundações.

As lajes podem ser definidas como elementos planos destinados a receber grande parte das ações aplicadas numa construção, podendo ser os mais variados tipos de cargas existentes em função da finalidade do espaço físico que a laje faz parte. As ações em geral são perpendiculares ao plano da laje podendo ser divididas em: forças concentradas, ações distribuídas linearmente e ações distribuídas uniformemente.

Segundo a NBR 6118:2014 placas são definidas como “Elementos de superfície plana sujeitos principalmente a ações normais ao seu plano. As placas de concreto são usualmente denominadas lajes”.

2.1 Classificação das lajes

As lajes em concreto armado podem ser classificadas quanto à sua armação, podendo ser armada em uma só direção ou armada em cruz (armada nas duas direções), quanto ao seu tipo de apoio e quanto à sua natureza, onde se pode ter uma laje maciça, pré-fabricada, nervurada, entre outras.

As lajes armadas em uma só direção apresentada na Figura 1, segundo Araújo (2014), são aqueças que a relação entre os vãos é superior a 2. Nesses casos, o momento

fletor na direção do vão maior é pequeno e não necessita ser calculado, bastando adotar uma armadura de distribuição segundo essa direção.

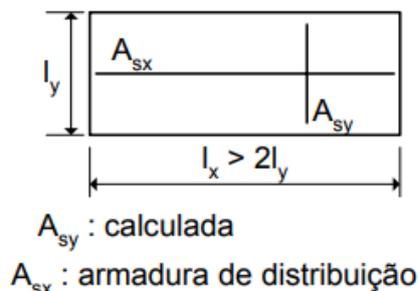


Figura 1. Laje armada em uma direção

Fonte: (Araújo, 2014)

Já as lajes armadas em cruz apresentada na Figura 2, segundo Araújo (2014), são aquelas em que a relação entre o vão maior e o vão menor não é superior a 2. Nesses casos, os Momentos Fletores nas duas direções são importantes e devem ser calculados. Para cada um deles, deve-se realizar o dimensionamento e dispor as armaduras nas direções correspondentes.

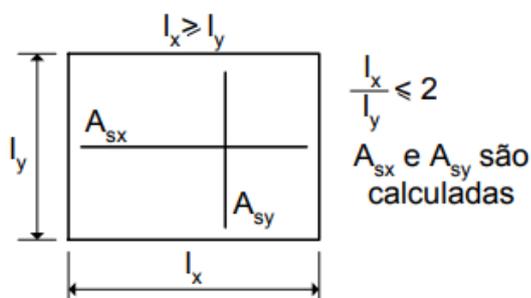


Figura 2. Laje armada em cruz

Fonte: (Araújo, 2014)

2.2 Condições de contorno

Para calcular nas lajes, os esforços solicitantes e as deformações devem-se estabelecer os seus vínculos com os seus apoios. Por esse motivo tornam-se necessário adotar simplificações, onde se admite que a laje é perfeitamente engastada ou simplesmente apoiada em seu bordo.

Para essas simplificações, usualmente são utilizadas tabelas para cálculo dos esforços solicitantes nas lajes, baseadas na teoria da elasticidade, onde só admitem três tipos de vínculos das lajes, o apoio simples, o engaste perfeito e a borda livre. Essa idealização teórica de apoio simples ou engaste perfeito, dificilmente ocorre na prática. Entretanto, conforme Cunha & Souza (1998), o erro cometido é pequeno e não supera os 10%.

A convenção da vinculação das diferentes condições de apoios das lajes para facilitar a representação é mostrada na Figura 3.



Figura 3. Convenção para as condições de apoio

Fonte: (Araújo, 2014)

Segundo Cunha & Souza (1998), normalmente as lajes são apoiadas sobre vigas de concreto nas quais a rigidez à torção é pequena e oferece resistência à torção desprezível, deformando-se e garantindo a concepção da teoria de apoio simples.

2.3 Dimensionamentos ao esforço de flexão simples

No dimensionamento à flexão simples das seções transversais de concreto armado adotam-se hipóteses básicas do dimensionamento, segundo a NBR 6118:2014, sendo a hipótese das seções planas, a condição de aderência perfeita entre as barras de aço e o concreto, e despreza-se totalmente a resistência à tração do concreto.

Para o concreto em compressão, pode-se empregar o diagrama parábola-retângulo, mostrado na Figura 4, como sugerido na NBR 6118:2014.

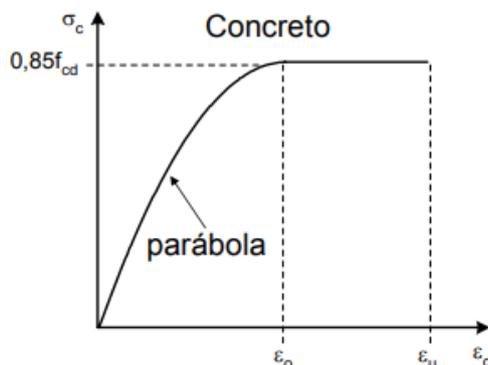


Figura 4. Diagrama parábola-retângulo

Fonte: (Araújo, 2014)

O diagrama é composto pela deformação e tensão de compressão no concreto, onde f_{cd} é a resistência à compressão de cálculo do concreto dada pela Eq. (1).

$$f_{cd} = f_{ck} / 1,4 \quad (1)$$

O valor de f_{ck} é referente à resistência característica a compressão e o valor de 1,4 corresponde a um coeficiente parcial de segurança. As deformações são variáveis conforme o f_{ck} , porém, no projeto estrutural é usual adotar os valores médios

$\varepsilon_0 = 0,002$ para a compressão simples e $\varepsilon_u = 0,0035$ para a flexão simples ou composta.

Para os aços, pode-se empregar o diagrama tensão-deformação idealizado e sugerido pela NBR 6118, 2014, mostrado na Figura 5. Esse diagrama é usado para tração e para a compressão.

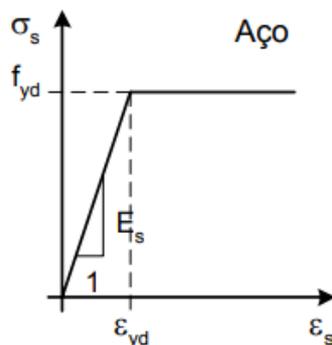


Figura 5. Diagrama tensão-deformação

Fonte: (Araújo, 2014)

O diagrama é composto pela deformação e tensão nas barras de aço, onde f_{yd} é a tensão de escoamento característica do aço dada pela Eq. (2).

$$f_{yd} = f_{yk} / 1,15 \tag{2}$$

O valor de f_{yk} é referente à tensão de escoamento característica do aço e o valor de 1,15 corresponde a um coeficiente parcial de segurança. Por deformação plástica excessiva do aço adota-se o valor de $\varepsilon_s = 0,01$.

A deformação de escoamento de cálculo, ε_{yd} , é dada pela Eq. (3)

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s \tag{3}$$

Onde o módulo de elasticidade longitudinal do aço é $E_s = 210GPa$.

Para realizar o dimensionamento de uma seção retangular de concreto armado com armadura simples, submetida a um momento fletor de cálculo, pode-se adotar o diagrama retangular mostrado na Figura 6.

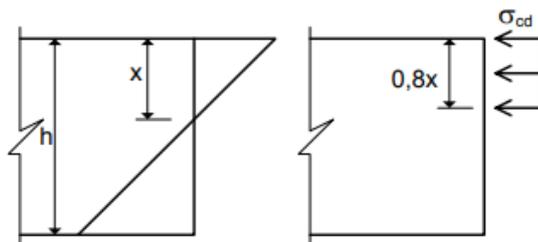


Figura 6. Diagrama retangular para o concreto

Fonte: (Araújo, 2014)

O emprego desse diagrama simplifica as equações de dimensionamento e fornece resultados compatíveis com o diagrama parábola-retângulo. O valor para x representa a profundidade da linha neutra, medida a partir da borda comprimida, e considera-se que essa borda comprimida está sujeita a uma tensão constante mostrada na Eq. (4), até uma profundidade de $0,8x$.

$$\sigma_{cd} = 0,85 f_{cd} \quad (4)$$

Para realizar o dimensionamento com armadura simples, basta empregar as duas equações de equilíbrio, obtendo assim a Eq. (5) e Eq. (6).

$$\xi = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu} \right) \quad (5)$$

$$A_s = 0,8 \xi b d \frac{\sigma_{cd}}{f_{yd}} \quad (6)$$

Onde o b é a largura da seção transversal, d é a altura da seção transversal, e o momento reduzido é dado pela Eq. (7).

$$\mu = \frac{M_d}{b d^2 \sigma_{cd}} \quad (7)$$

Essas equações devem ser utilizadas enquanto $\xi \leq \xi_{lim}$, onde ξ_{lim} é um valor limite para a profundidade da linha neutra capaz de assegurar uma ruptura dúctil.

2.4 Software Visual Studio

Segundo o site da Microsoft, o Visual Studio é um guia com assistência em tempo real para o seu desenvolvimento, independentemente da linguagem que você usa, seja ela C#/VB ou C++, JavaScript ou Python.

É basicamente um software editor de texto que possibilita aos usuários escreverem seus códigos em uma determinada linguagem, que em seguida são traduzidos em comandos para os computadores.

Com o software é possível o desenvolvimento de vários tipos de aplicativos e, independentemente da linguagem utilizada, ele é capaz de mostrar os atalhos disponíveis para os comandos, além do preenchimento automático, o que facilita no desenvolvimento e construção do código.

A utilização do Visual Basic se torna interessante por alguns motivos, com a possibilidade de depurar o código que foi desenvolvido, que nada mais é que verificar os erros de sintaxe existentes no código ou na lógica dos comandos do programa.

Ao depurar o código, o software mostra uma lista com os erros existentes, onde é possível identificar em qual a linha se encontra algum erro existente, tanto de sintaxe quanto de lógica. Além disso, dependendo da linguagem utilizada pelo usuário, o programa também exibe opções que podem ser utilizadas para soluções de alguns erros.



Após o término do desenvolvimento do código, dependendo de sua finalidade, é possível trabalhar em uma interface gráfica visual para os possíveis usuários do programa, e assim gerar um arquivo executável, onde são inseridos parâmetros necessários para a execução de um código, e também obter os resultados gerados pelo programa.

3 METODOLOGIA

Primeiramente foi elaborado um estudo teórico sobre os processos de dimensionamento de lajes de concreto armado, assim como os esforços a que se submetem. Além das lajes de concreto armado, foi também desenvolvido um estudo em algoritmos e na linguagem de programação proposta.

O desenvolvimento do programa foi feito através de linguagem de programação Visual Basic, e está limitado ao estudo e desenvolvimento de uma ferramenta computacional que faça o dimensionamento de lajes de concreto armado, considerando apenas lajes maciças com geometria retangular e carregamento composto unicamente por cargas uniformemente distribuídas.

Esse carregamento pode ser inserido pelo usuário, de acordo com a estrutura desejada e também para a devida utilização a qual será destinada, assim como os parâmetros iniciais que irão definir a configuração da laje isolada e os momentos que nela serão aplicados.

No programa desenvolvido, também é possível o usuário escolher qual a opção de apoio deseja aplicar a estrutura a ser dimensionada. A escolha será feita por cada bordo da laje, podendo escolher se o bordo estará simplesmente apoiado, engastado ou livre.

4 DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do programa, se construiu um algoritmo para o dimensionamento das lajes conforme descrito ao longo deste texto e se alimentando o código à medida que foi preciso.

Como apresentar o algoritmo em si, poderia não trazer certa clareza para algum leitor leigo do assunto, no decorrer deste capítulo, será apresentado como o programa se comporta no cálculo de lajes maciças em concreto armado, pela forma como pode ser utilizado, demonstrando suas principais funções e características. O software em questão, no qual se atribuiu o nome de ProgLaje, foi completamente desenvolvido no Visual Studio 2017, devido a simplicidade na manipulação dos dados e na clareza da exposição dos resultados.

A interface geral do programa está dividido em abas, que constituem as etapas necessárias para o cálculo das armaduras positivas de uma laje, sendo:

- A) Dados da Laje;
- B) Carregamento;

C) Esforços;

D) Armadura Positiva;

E) Relatório.

Todos esses itens serão descritos nos itens a seguir.

4.1 Dados de entrada

Ao se inicializar o programa, a janela que será aberta é como mostrada na Figura 7.

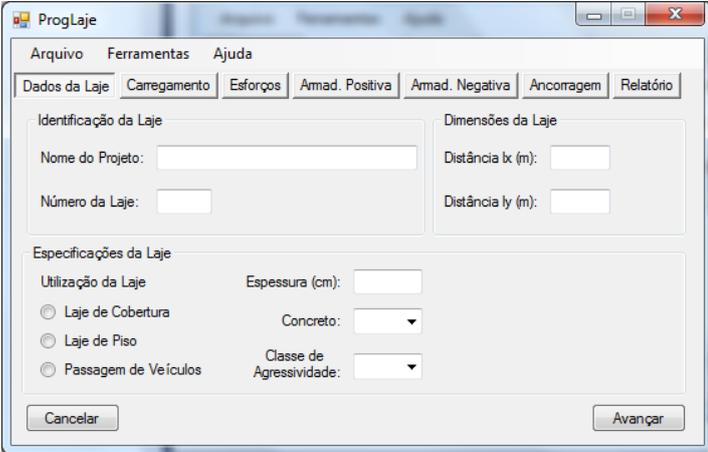


Figura 7. Aba: Dados da Laje

Fonte: (Autor, 2018)

Esta aba corresponde à primeira etapa do projeto, e deve ser totalmente preenchida para dar continuidade às próximas etapas do programa. O primeiro grupo de informações, denominado “Identificação da Laje”, tem o princípio de facilitar e organizar a saída de dados. O segundo grupo, denominado “Dimensões da Laje”, é onde deve ser inserido os valores para os vãos efetivos da laje, simplificada como a distância entre os centros de apoio, e dependendo da relação entre esses vãos, as lajes serão classificadas em armada em uma direção ou armada em duas direções. Já o terceiro grupo, denominado “Especificações da Laje”, são definidas as propriedades dos materiais, assim como o tipo de ambiente no qual será utilizada.

4.2 Carregamento

Na aba Carregamento, são definidas as cargas atuantes na laje como mostrada na Figura 8.

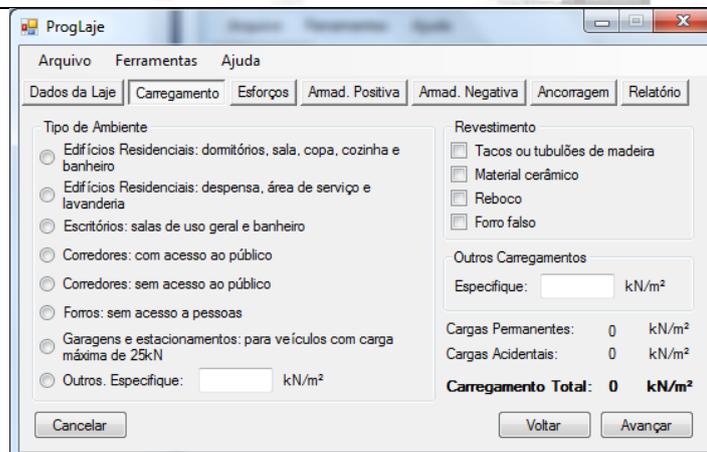


Figura 8. Aba: Carregamento

Fonte: (Autor, 2018)

Onde é feito o cálculo das cargas, sendo divididas em três grupos de informações. O primeiro grupo, denominado “Tipo de Ambiente”, que define a parcela das cargas acidentais de acordo com a NBR 6120:1980. Para o segundo grupo, denominado “Revestimento”, calcula o revestimento escolhido, juntamente com o peso próprio da laje, sendo a parcela de cargas permanentes. Há ainda um terceiro grupo, denominado “Outros Carregamentos”, que serve para eventuais carregamentos não listados anteriormente.

4.3 Esforços solicitantes

Nesta aba, são apresentados os esforços solicitantes na laje, como demonstrado na Figura 9.

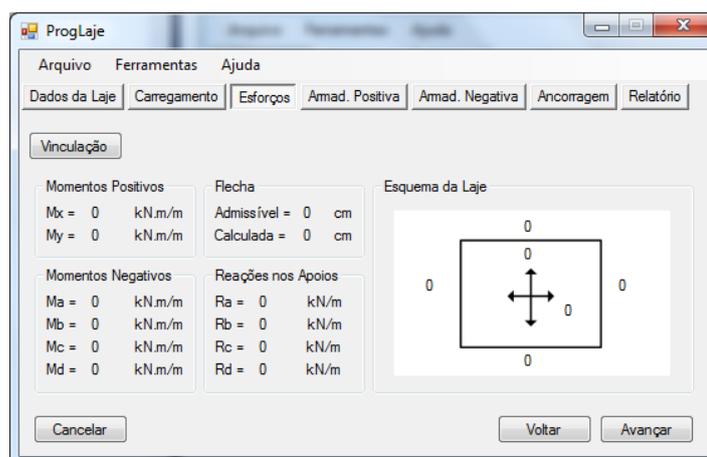


Figura 9. Aba: Esforços

Fonte: (Autor, 2018)

Porém, antes de obter os valores dos esforços solicitantes, é necessário escolher a vinculação na qual a laje está submetida. Ao clicar no botão “Vinculação”, será aberta

uma nova janela para que se escolham as condições de contorno da laje, como mostrado na Figura 10.

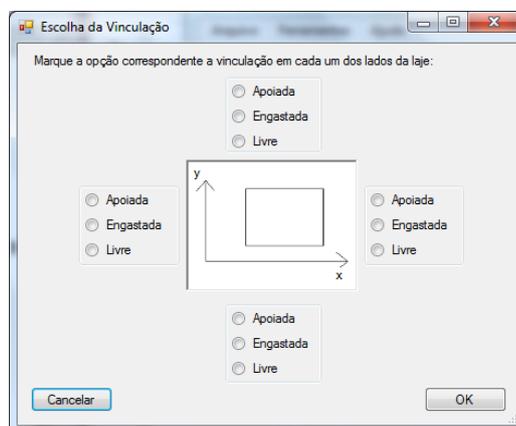


Figura 10. Aba: Escolha da Vinculação

Fonte: (Autor, 2018)

4.4 Armadura positiva

Na aba Armd. Positiva é apresentada a área de aço necessária nos vãos, colocados junto à face inferior da laje, tanto para a direção x quanto para a direção y, como mostrada na Figura 11.

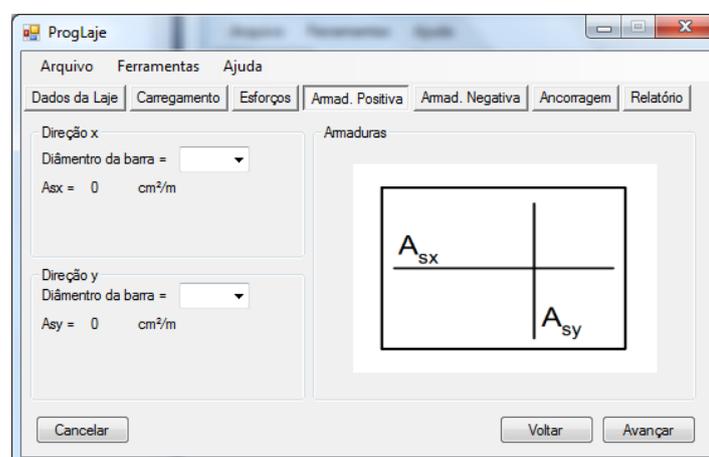


Figura 11. Aba: Armad. Positiva

Fonte: (Autor, 2018)

Para a definição da armadura em cada direção, o usuário deve escolher o diâmetro do aço na qual deseja utilizar, e após isto, automaticamente é calculado o espaçamento entre as barras, o número de barras necessárias e seu comprimento.

4.5 Armadura negativa

Na aba Armd. Negativa é apresentada a área de aço necessária nos bordos engastados, colocados junto à face superior da laje, como mostrada na Figura 12.

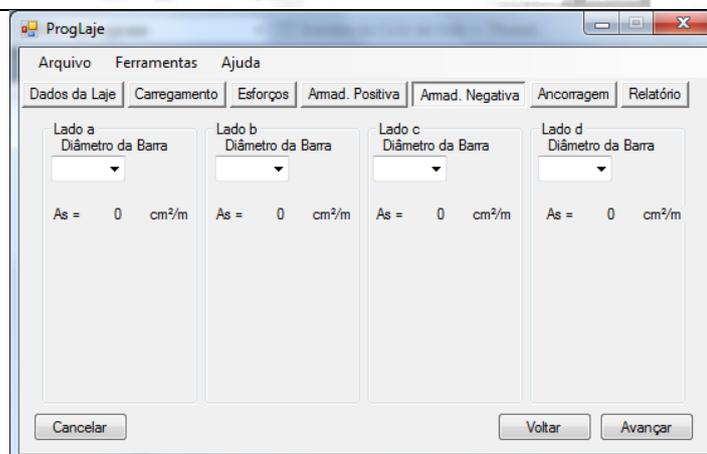


Figura 12. Aba: Armad. Negativa

Fonte: (Autor, 2018)

A armadura negativa é dimensionada da mesma forma que para a armadura positiva, utilizando os valores de momentos negativos encontrados nos bordos engastados. Da mesma forma, o usuário deve escolher o diâmetro do aço na qual deseja utilizar, e após isto, automaticamente é calculado o espaçamento entre as barras, o número de barras necessárias e seu comprimento.

Só irá aparecer a opção para o lado na qual existem bordos engastados, e caso a laje não tenha nenhum momento negativo, não será exibida essa etapa.

4.6 Ancoragem

Na aba Ancoragem é apresentado o comprimento necessário para a ancoragem das armaduras positivas, considerando apoios de extremidade, como mostrada na Figura 13.

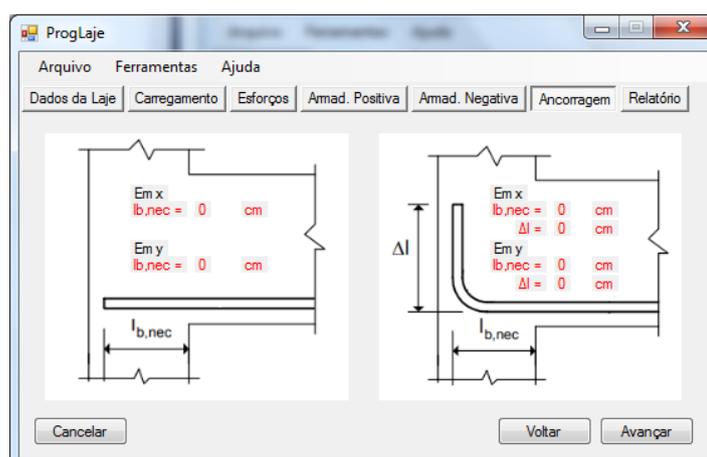


Figura 13. Aba: Ancoragem

Fonte: (Autor, 2018)



A ancoragem é feita tanto para o sentido em x, quanto para o sentido em y, exibindo o comprimento necessário para ancoragem reta e para ancoragem com gancho, para que se tenha a escolha de qual a melhor opção a ser utilizada em cada caso.

5 VERIFICAÇÃO E RESULTADOS

Para a verificação dos valores obtidos, foi feita uma comparação com lajes de variadas dimensões para uma laje simplesmente apoiada simuladas pelo programa ProgLaje, comparando com as mesmas condições utilizando o software *TQS*, que utiliza como base de cálculo o método das grelhas.

A verificação apresentada foi baseada em dados típicos de um edifício residencial: sala/dormitórios, com classe de agressividade ambiental II, uma espessura de laje de 10 cm, executada com um f_{ck} de 30 Mpa. Para o revestimento foi inserida uma carga de 1kN/m^2 , totalizando uma carga de 5kN/m^2 . Nos resultados do programa, apresentou-se os resultados para bordos simplesmente apoiados, engastados em uma direção e também livre em uma direção, de forma a demonstrar o funcionamento do mesmo. Para a verificação, utilizou-se os bordos simplesmente apoiados, como irá ser demonstrado abaixo.

Na Tabela 1 são mostrados os valores encontrados pelo programa ProgLaje.

Tabela 1. Resultados obtidos pelo programa ProgLaje

		Simplesmente Apoiada	
Direção x	Direção y	Mx (kNm)	My (kNm)
3	3	1,98	1,98
3	4	3,08	1,99
3	5	3,90	1,83
4	5	5,03	3,58
5	5	5,50	5,51

A mesma comparação, utilizando os mesmos parâmetros, foi feita no software *TQS*. O software utiliza o método das grelhas. Os valores encontrados pelo *TQS* são mostrados na Tabela 2.



Tabela 2. Resultados obtidos pelo programa TQS

Simplesmente Apoiada			
Direção x	Direção y	Mx (kNm)	My (kNm)
3	3	1,93	1,93
3	4	3,00	1,57
3	5	3,79	1,29
4	5	4,93	3,0
5	5	5,21	5,21

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na Tabela 3, pode-se verificar que o programa é eficiente, visto que as diferenças entre os métodos ficaram da ordem de 0,02 a 0,3% entre os resultados do programa desenvolvido e o software *TQS*.

Tabela 3. Diferenças encontradas entre o ProgLaje e o TQS

Simplesmente Apoiada			
Direção x	Direção y	Mx (%)	My (%)
3	3	0,03	0,03
3	4	0,03	0,20
3	5	0,02	0,30
4	5	0,02	0,16
5	5	0,05	0,05

7 CONCLUSÃO

Conclui-se, portanto, que o programa desenvolvido é eficiente e pode ser utilizado por acadêmicos do curso de Engenharia Civil ou para pequenas verificações por profissionais na área.



AGRADECIMENTOS

Agradeço, a todos os orientadores deste artigo, pelo incentivo, comprometimento e disponibilidade em transmitir seu conhecimento, e a todos àqueles que, de alguma forma, contribuíram para que este artigo fosse realizado.

REFERÊNCIAS

Araújo, J M., 2014. *Curso de Concreto Armado*. 4ª edição. Rio Grande, Editora Dunas. v.1.

Araújo, J M., 2014 *Curso de Concreto Armado*. 4ª edição. Rio Grande, Editora Dunas. v.2.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118. *Projeto de Estruturas de Concreto Armado*, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6120. *Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*, 1980.

Kimura, Alio. *Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com uso de sistemas computacionais*. São Paulo: Pini, 2007.

Souza, V.C.M.; Cunha, A.J.P., 1998. *Lajes em Concreto Armado e Protendido*. 2ª edição. Niterói, Ed. da Universidade Federal Fluminense.