

ANÁLISE COMPARATIVA DOS CRITÉRIOS DE DETALHAMENTO DAS ARMADURAS POSITIVAS DE LAJES MACIÇAS UTILIZANDO SOFTWARES

Isabela dos Santos Pizzetti (1), Jair Pizzetti (2), Rinaldi Costa (3), Alexandre Vargas (4).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) bela_pizzetti@hotmail.com, (2) jair.3c@gmail.com, (3) ica_@terra.com.br (4) avargas@unesc.net

RESUMO

O presente estudo trata da análise de dois critérios de detalhamento das armaduras positivas de lajes maciças bidirecionais utilizando três *softwares* de cálculo estrutural comerciais. O primeiro critério posiciona apenas uma armadura em cada direção de cada laje do pavimento. O segundo critério detalha as armaduras por faixas de momentos fletores. No dimensionamento, utilizou-se a norma de projeto de estruturas de concreto armado NBR 6118:2014. O projeto piloto compreende o estudo do pavimento térreo de uma edificação que contém nove lajes. Elas foram lançadas nos *softwares* com as mesmas informações, os mesmos elementos estruturais e utilizando parâmetros de dimensionamento similares. Após os cálculos, detalharam-se as armaduras pelos dois critérios. Como resultado, obtiveram-se diferenças de consumo, de 42% e 69% nos programas “C” e “B” em relação ao programa computacional “A” que foi o que resultou em menor consumo para armadura única em cada direção (1º critério); e 15% e 59%, nos *softwares* “C” e “B” respectivamente, em relação ao mesmo *software* “A” para armadura detalhada por faixas de momento fletor (2º critério).

Palavras-Chave: Lajes maciças. Detalhamento. Armaduras positivas. Softwares.

1. INTRODUÇÃO

Lajes maciças “são estruturas laminares com superfície média plana, solicitadas predominantemente por forças perpendiculares ao seu plano médio” (FUSCO,1995, p. 237), executadas em concreto armado, onde armaduras de aço embutidas no concreto conferem maior resistência à tração, esforço que apenas o concreto não resiste (ROCHA,1999). Conseqüentemente, onde houver esforços internos dessa natureza, deve-se posicionar a armadura. Como o concreto tem boa resistência à compressão, pode ser utilizado em lajes e vigas sujeitas ao esforço de flexão (LEONHARDT e MONNIG, 1977).

Fusco (1995, pg. 56), ao abordar sobre as armaduras, destaca que é:

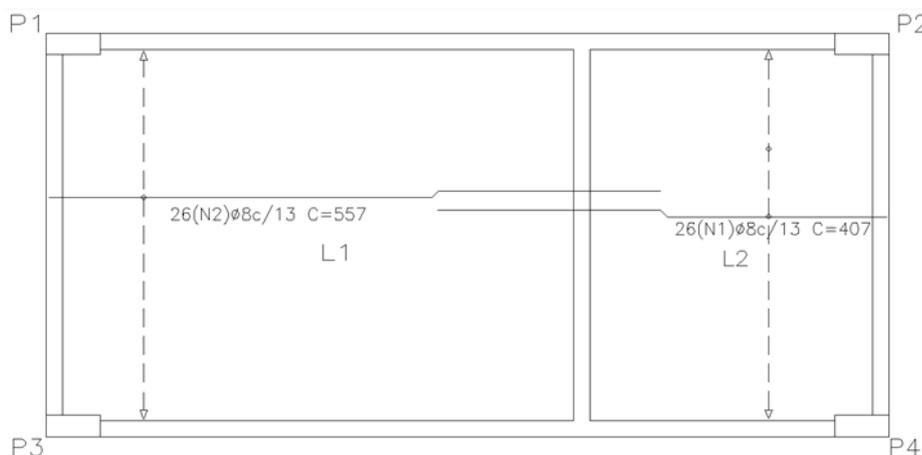
[...] muito importante entender que a segurança de uma estrutura depende de modo fundamental do arranjo de suas armaduras. Não basta que na

armadura seja empregada uma quantidade suficiente de aço. É indispensável que o aço empregado absorva efetivamente todos os esforços de tração que possam comprometer a segurança da peça. Para isto, o arranjo deve ser adequado ao tipo de peça em questão.

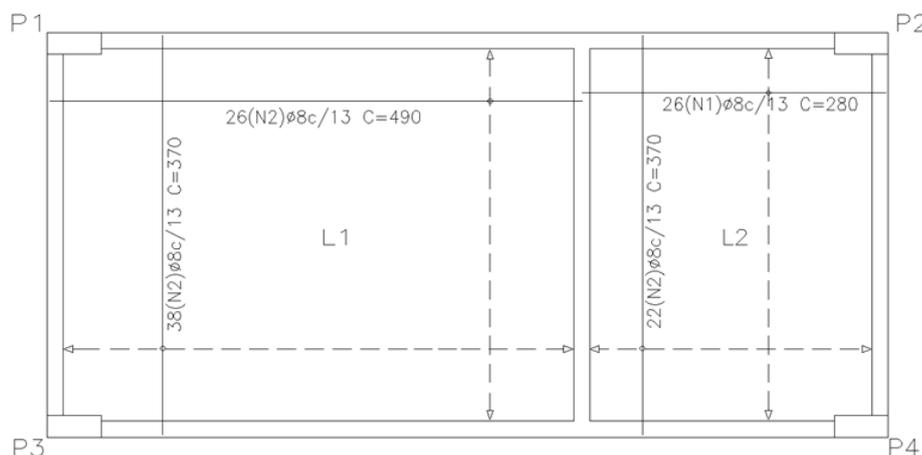
No detalhamento das armaduras de lajes, num período anterior às normas vigentes, as barras eram dispostas de diferentes maneiras. Em um dos arranjos, as armaduras eram dobradas e aproveitadas para resistirem aos momentos negativos. Em outra forma de detalhamento, posicionavam-se armaduras em cada direção, independentemente das armaduras negativas (ROCHA, 1999). Ainda, em uma variação deste último, as armaduras positivas poderiam ser dispostas de forma alternada. A Figura 1 ilustra esses tipos de detalhamento.

Figura 1 – Diferentes detalhamentos de armaduras utilizados em lajes maciças.

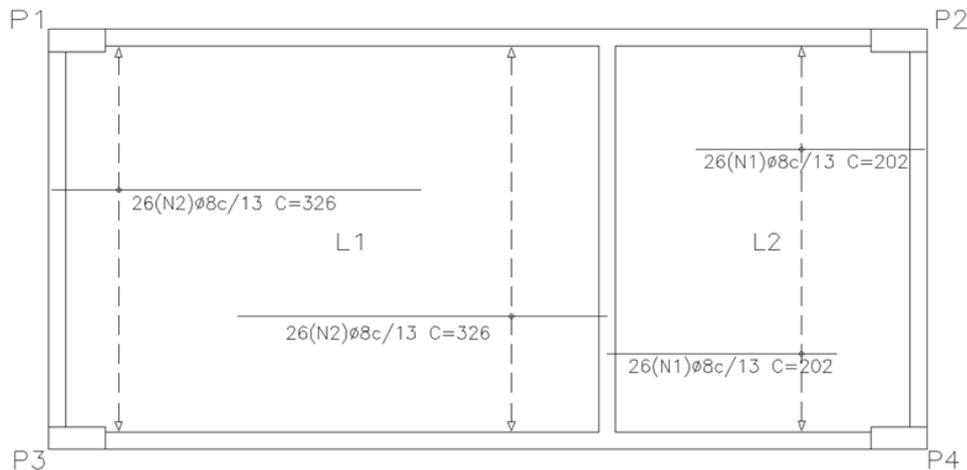
(a) Armaduras positivas dobradas e aproveitadas para resistirem aos momentos negativos



(b) Armaduras positivas únicas em cada direção



(c) Armaduras positivas dispostas de forma alternada



Fonte: Do autor, 2017.

Atualmente, o detalhamento das armaduras e o dimensionamento da estrutura são concebidos por programas de cálculo, encontrados em grande quantidade no mercado. Mas, apesar da existência desses recursos, deve-se levar em consideração a experiência e o conhecimento do engenheiro (SOUZA, 2014).

Os programas computacionais de cálculo, se comparados a outros métodos mais simplificados, fornecem para uma estrutura um comportamento físico muito similar ao que ocorre na vida prática da construção civil (VERGUTZ e CUSTÓDIO, 2010).

Com o avanço desses programas e equipamentos, o cálculo estrutural ficou mais refinado, permitindo, por exemplo, determinar com grande facilidade as diferentes faixas de momento fletor atuantes numa laje maciça e, por consequência, variar a armadura de combate à flexão numa mesma.

O método utilizado pelos *softwares* “é o de analisar as solicitações através do Método dos Deslocamentos com formulação matricial de pórtico espacial, transmitindo os esforços através de barras ligadas por nós” (SOUZA, 2014).

Vergutz e Custódio (2010) explicam que

os Pórticos Espaciais são idealizações de estruturas de barras distribuídas no espaço, geralmente formando quadros fechados, que podem receber carregamentos em qualquer direção, o que possibilita a avaliação global da estrutura, formada por vigas, pilares e lajes.

De acordo com Martha (1994), “a formulação matricial pelo Método dos Deslocamentos de estruturas aporricadas é o próprio Método dos Elementos Finitos na sua formulação em deslocamentos”.

Sejam realizados por *softwares* ou por outros métodos de cálculo, a NBR 6118:2014 destaca que os detalhamentos das armaduras “devem sempre respeitar as quantidades necessárias, mínimas e máximas exigidas, segundo a teoria de concreto estrutural, bem como os critérios de detalhamento prescritos por ela”.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar dois critérios de detalhamento das armaduras positivas de combate à flexão de lajes maciças bidirecionais (detalhamento com armadura única em cada direção e detalhamento por faixas de momentos fletores). Para isso, utilizaram-se e compararam-se três *softwares*, analisando qual critério é o mais econômico no cálculo da taxa de armadura, sempre respeitando a segurança estrutural.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

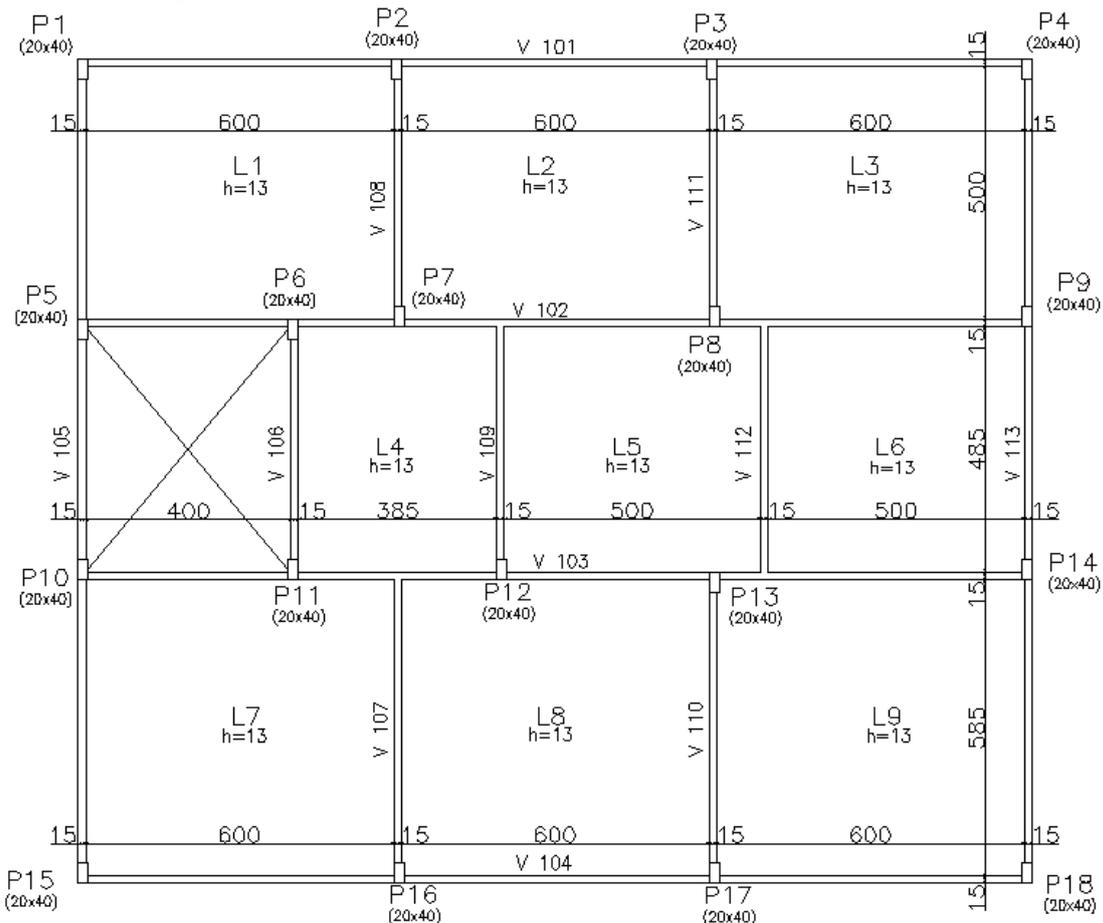
Neste estudo, utilizaram-se três *softwares* comerciais de cálculo:

- “A”, *versão 2016.d* – desenvolvido na Espanha, calcula, dimensiona e detalha estruturas de concreto armado. Neste *software*, a estrutura trabalha toda em conjunto como pórtico espacial.
- “B”, *versão V10 Plena Demonstrativa* – desenvolvido no Brasil, assim como o primeiro *software*, é utilizado para o cálculo e dimensionamento de estruturas de concreto armado. Emprega o modelo de pórtico espacial e grelha 3D para análise dos esforços e deslocamentos.
- “C”, *versão 19.11* – desenvolvido no Brasil, calcula, analisa, dimensiona e detalha estruturas de concreto armado e protendido. Também utiliza o método de grelhas e pórtico espacial, semelhante ao segundo *software*.

Os três programas detalham e dimensionam seguindo as exigências de normas selecionadas, como a NBR 6118:2014 utilizada neste trabalho.

Foi elaborado no *software AutoCad, versão estudantil*, um projeto piloto que compreende pavimento térreo, segundo pavimento, cobertura e reservatório elevado. Para melhor atender aos objetivos propostos nesta pesquisa, utilizou-se a planta de forma do térreo que contém nove lajes, como mostra na Figura 2.

Figura 2 – Planta baixa do pavimento térreo do projeto estudado.



Fonte: Do autor, 2017.

2.2 MÉTODOS

Para a realização dos cálculos, configuraram-se os *softwares* para concreto tipo C25, coeficiente de segurança de 1,4 para o concreto e esforços e 1,15 para o aço CA50 e CA60. Para as cargas permanentes e acidentais na estrutura, seguiram-se os critérios da NBR 6120/1980 apresentados na Tabela 1. Para o dimensionamento da estrutura, seguiu-se a NBR 6118/2014, que também foi utilizada para definir o cobrimento das armaduras das lajes (2,5 cm nos três *softwares*). A ação do vento foi desconsiderada.

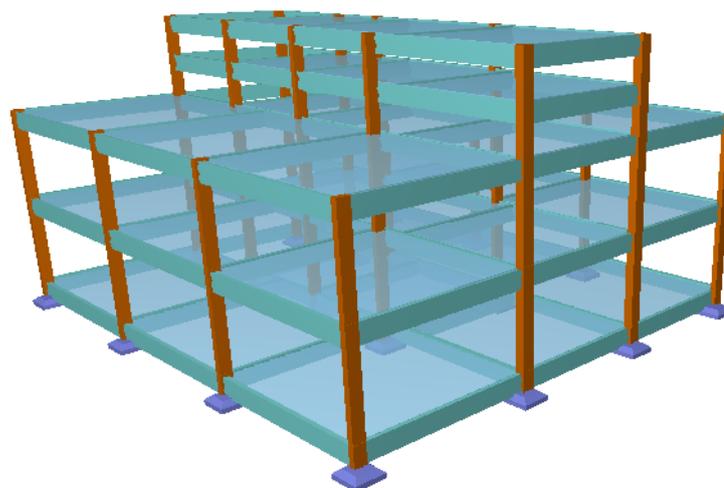
Tabela 1 – Cargas permanentes e acidentais utilizadas.

Pavimento	Categoria de Uso	Sobrecarga (KN/m ²)	Carga Permanente (KN/m ²)
Cobertura do Reservatório	Edifício Residencial	0,50	1,20
Apoio do Reservatório	Edifício Residencial	0,50	1,20
Cobertura	Edifício Residencial	0,50	1,50
2º Pavimento	Edifício Residencial	1,50	1,80
Térreo	Edifício Residencial	1,50	1,80
Fundação	Edifício Residencial	0,00	0,00

Fonte: Do autor, 2017.

Na sequência, foram lançados os pilares com dimensões de 20x40 cm, as vigas com seção transversal de 15x60 cm e as lajes com espessuras de 13 cm. Todos os itens foram verificados posteriormente. Acrescentou-se nas vigas do térreo e do segundo pavimento uma carga linear de parede de 6,00 KN/m, e nas vigas da cobertura, apoio do reservatório e da cobertura do reservatório uma carga linear de parede de 2,50 KN/m. Tratando do engastamento das vigas com as lajes, consideraram-se totalmente engastadas nos três *softwares*. A Figura 3 mostra a perspectiva da estrutura piloto lançada em um dos programas estudados.

Figura 3 – Perspectiva da estrutura piloto no *software* “A”.



Fonte: Do autor, 2017.

Neste trabalho, não foram dimensionadas as fundações. Após o lançamento do sistema estrutural, o programa realizou o cálculo e mostrou o detalhamento das

armaduras nas lajes. Uma vez que a pesquisa enfatiza o detalhamento das armaduras positivas das lajes maciças retangulares, os *softwares* foram configurados para apresentarem os resultados utilizando dois critérios de detalhamento:

- 1º critério – detalhamento com armadura única em cada direção;
- 2º critério – detalhamento por faixas de momentos.

Na discretização das lajes, os *softwares* se distinguem. Os programas “B” e “C” utilizam o método semelhante a grelhas de 25x25 cm, já o *software* “A” gera uma malha de elementos finitos também de 25x25 cm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

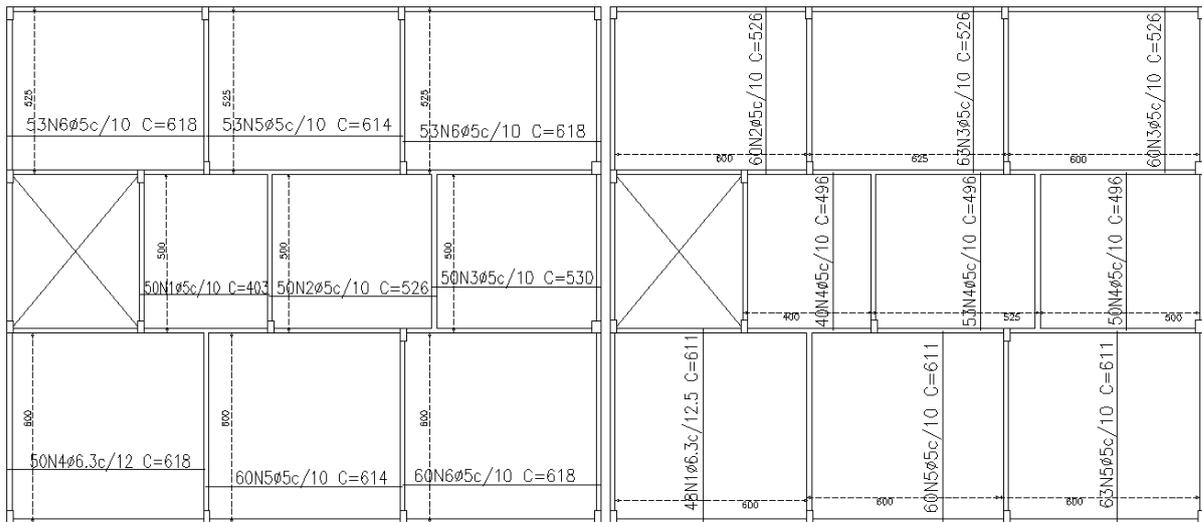
Após os cálculos, modificaram-se algumas dimensões de pilares e vigas para que a estrutura atendesse as condições de dimensionamento. As alterações foram aplicadas em todos os programas. Alteraram-se as seções dos pilares P9 e P14 para 30x30 cm e a viga V107 para 15x65 cm. A seguir, são apresentados os resultados dos detalhamentos das armaduras positivas das lajes do pavimento térreo obtidos em cada *software*.

3.1 DETALHAMENTO DAS ARMADURAS POSITIVAS DO PAVIMENTO TÉRREO

3.1.1 Detalhamento das armaduras no *software* “A” pelo 1º critério

No 1º critério, o *software* “A” disponibiliza armadura única para cada direção e sentido, cuja área de aço é o valor médio dos momentos fletores de cada laje, segundo informações contidas no seu manual. A Figura 4 demonstra o detalhamento.

Figura 4 – Armaduras longitudinais e transversais positivas pelo 1º critério (*software* “A”).

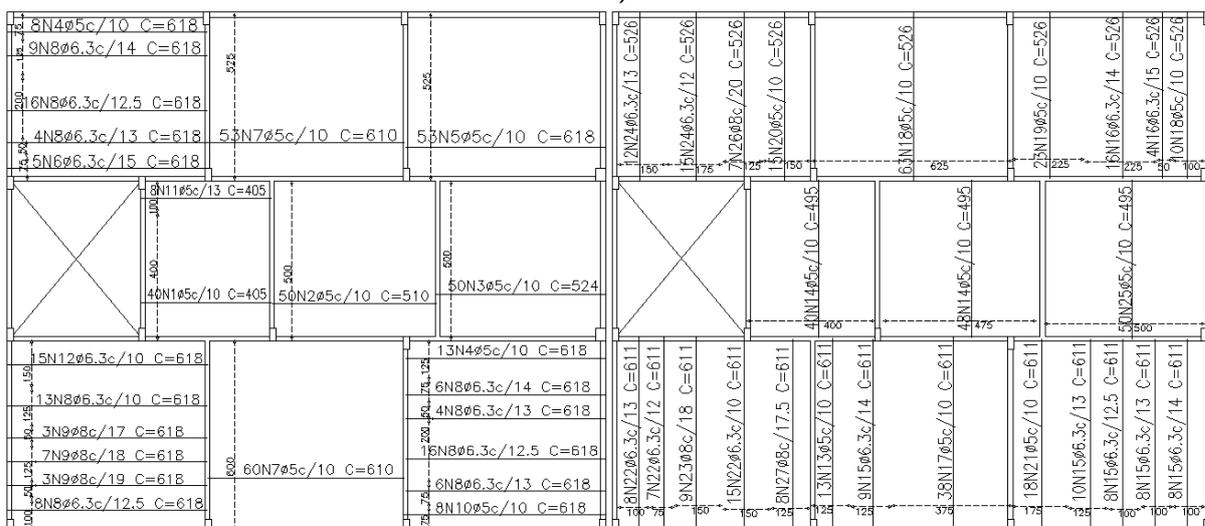


Fonte: Do autor, 2017.

3.1.2 Detalhamento das armaduras no software “A” pelo 2º critério

No 2º critério, o software “A” disponibiliza o detalhamento das armaduras na laje maciça por faixas de momento em cada direção e para cada uma das lajes. Nesse critério, quando uma única barra é apresentada, é por necessitar apenas de armadura mínima. O detalhamento das armaduras positivas longitudinais e transversais encontra-se na Figura 5.

Figura 5 – Armaduras longitudinais e transversais positivas pelo 2º critério (software “A”).

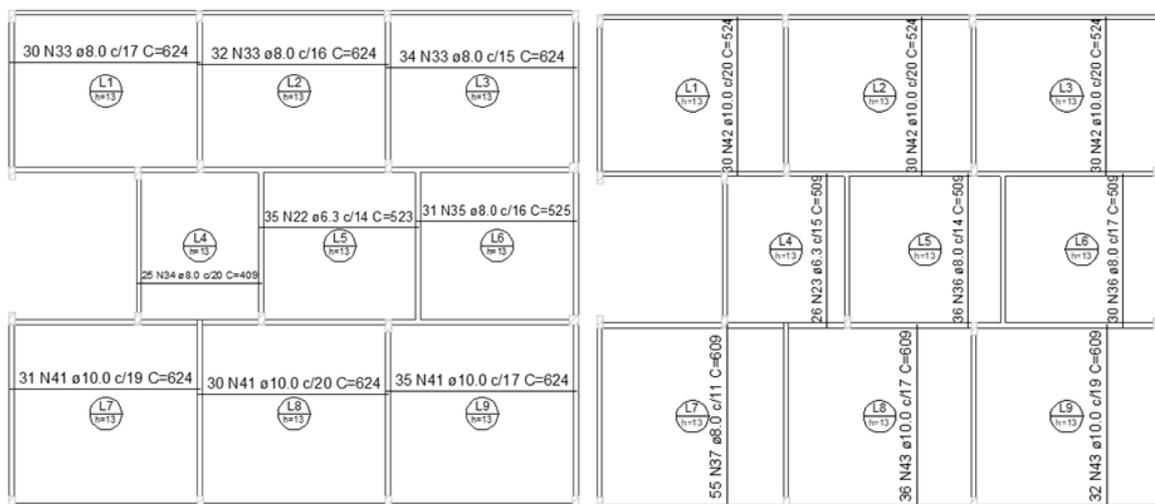


Fonte: Do autor, 2017.

3.1.3 Detalhamento das armaduras no *software “B”* pelo 1º critério

No 1º critério, o *software “B”* disponibiliza uma única armadura em cada direção e sentido, onde, conforme seu manual, a armadura utilizada é o valor máximo do momento fletor de cada laje. A Figura 6 traz os resultados do detalhamento das armaduras positivas longitudinais e transversais no *software “B”*.

Figura 6 – Armaduras longitudinais e transversais positivas pelo 1º critério (*software “B”*).

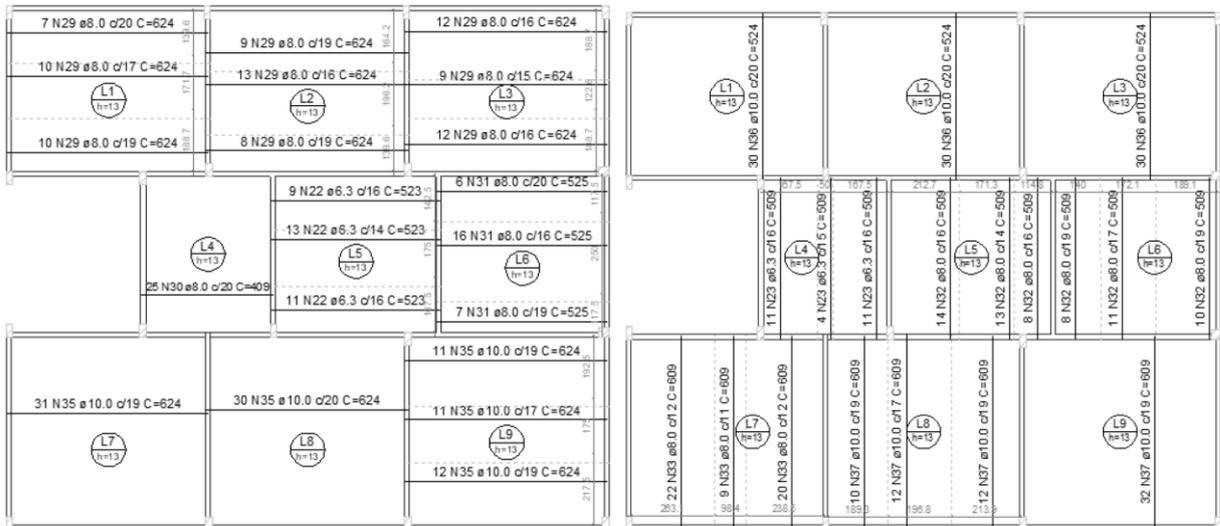


Fonte: Do autor, 2017.

3.1.4 Detalhamento das armaduras no *software “B”* pelo 2º critério

O *software “B”* detalha no 2º critério as armaduras por faixas de momentos fletores. O resultado da disposição das armaduras positivas longitudinais e transversais por esse critério encontra-se na Figura 7.

Figura 7 – Armaduras longitudinais e transversais positivas pelo 2º critério (*software “B”*).

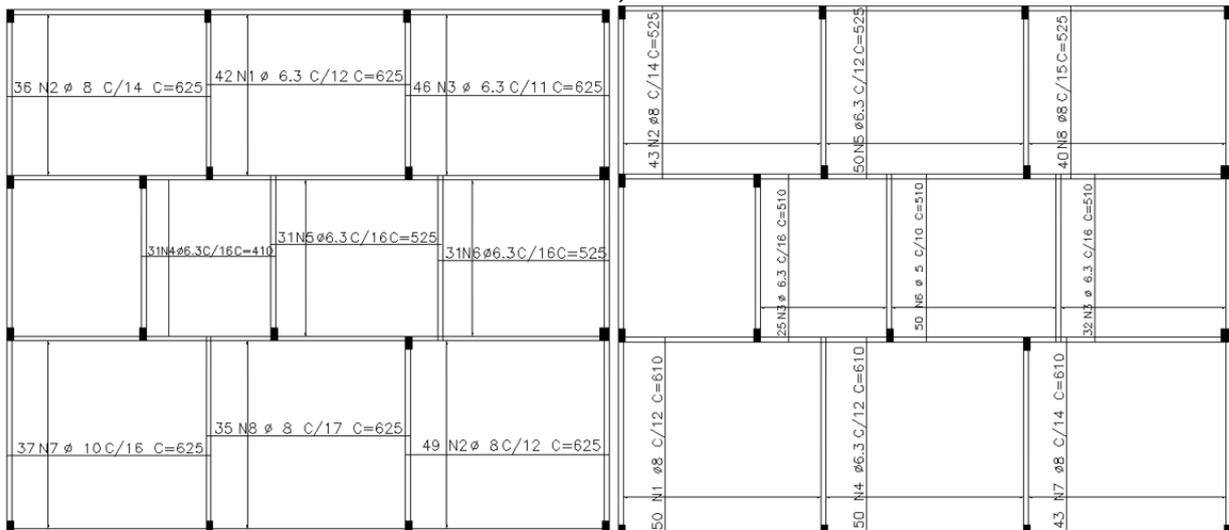


Fonte: Do autor, 2017.

3.1.5 Detalhamento das armaduras no software “C” pelo 1º critério

O software “C” disponibiliza no 1º critério uma única armadura em cada direção e sentido e a armadura utilizada é o valor máximo do momento fletor de cada laje, mesmo método aplicado pelo software “B”. Os resultados do detalhamento das armaduras do programa “C” estão dispostos na Figura 8.

Figura 8 - Armaduras longitudinais e transversais positivas pelo 1º critério (software “C”).



Fonte: Do autor, 2017.

Tabela 2 – Consumo de armadura por laje pelo 1º critério.

Consumo por laje (Kgf) do pavimento térreo			
Laje	A	B	C
1	106,1 (1,00)	172,3 (1,62)	180,3 (1,70)
2	108,4 (1,00)	177,3 (1,63)	131,3 (1,21)
3	106,1 (1,00)	182,3 (1,72)	155,9 (1,47)
4	66,0 (1,00)	74,0 (1,12)	63,7 (0,96)
5	86,8 (1,00)	119,1 (1,37)	82,8 (0,95)
6	84,6 (1,00)	126,2 (1,49)	81,5 (0,96)
7	150,6 (1,00)	253,9 (1,68)	265,4 (1,76)
8	121,3 (1,00)	252,0 (2,08)	163,8 (1,35)
9	124,7 (1,00)	256,2 (2,05)	227,4 (1,82)
Total	954,5 (1,00)	1613,4 (1,69)	1351,9 (1,42)

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 3 – Consumo de armadura por laje pelo 2º critério

Consumo por laje (Kgf) do pavimento térreo			
Laje	A	B	C
1	123,9 (1,00)	164,9 (1,33)	145,1 (1,17)
2	108,0 (1,00)	172,3 (1,59)	111,1 (1,03)
3	109,0 (1,00)	179,8 (1,65)	133,4 (1,22)
4	64,7 (1,00)	74,0 (1,14)	63,7 (0,98)
5	81,3 (1,00)	114,4 (1,41)	81,5 (1,00)
6	84,1 (1,00)	119,9 (1,43)	81,5 (0,96)
7	159,7 (1,00)	244,2 (1,53)	201,7 (1,26)
8	112,4 (1,00)	244,4 (2,17)	140,5 (1,25)
9	140,9 (1,00)	252,4 (1,79)	172,0 (1,22)
Total	984,1 (1,00)	1566,3 (1,59)	1130,4 (1,15)

Fonte: Autor, 2017.

Pelo exposto, os programas apresentaram uma diferença de valores no total de armaduras pelo 1º critério. A maior foi de 69% entre o *software* “B” e “A”.

No 2º critério, os *softwares* “A” e “C” mostraram um consumo de armaduras de 15% de diferença no total, enquanto que o *software* “B” resultou em uma quantidade 59% maior de armaduras em relação ao “A”.

O comparativo entre o consumo total de armaduras pelos dois critérios está presente na Tabela 4.

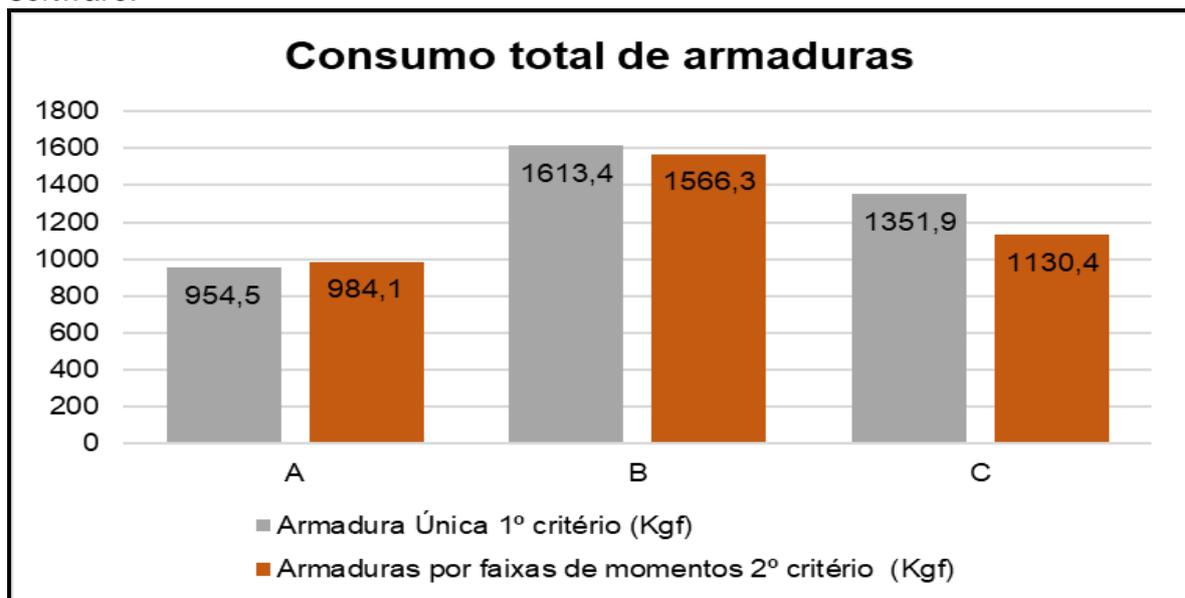
Tabela 4 – Consumo total de armaduras pelos dois critérios em cada *software*.

	Armadura Única 1º critério (Kgf)	Armaduras por faixas de momentos 2º critério (Kgf)	Diferença entre os dois critérios (%)
A	954,5 (1,00)	984,1 (1,00)	+ 3,10%
B	1613,4 (1,69)	1566,3 (1,59)	- 2,92%
C	1351,9 (1,42)	1130,4 (1,15)	- 16,38%

Fonte: Do autor, 2017.

Observa-se que nos *softwares* “B” e “C” o consumo total de armaduras do 1º para o 2º critério reduziu. Uma provável razão para essa diminuição é que os dois programas utilizam o máximo momento fletor de cada laje para o cálculo da área de aço, ou seja, tem um superdimensionamento na quantidade de armaduras pelo 1º critério (armadura única). Em contrapartida, o *software* “A” teve um acréscimo no detalhamento por faixas em relação à armadura única. Esse aumento se deve ao fato de que o programa utiliza a média dos momentos fletores para o dimensionamento da taxa de armaduras pelo 1º critério, resultando em regiões da laje com pouca quantidade de armaduras para resistir aos esforços de flexão. Esse comparativo entre os dois critérios para cada *software* pode ser melhor observado na Figura 11.

Figura 11 – Gráfico do consumo total de armaduras pelos dois critérios em cada *software*.



Fonte: Do autor, 2017.

4. CONCLUSÕES

Os resultados alcançados neste estudo permitem concluir que os três *softwares* apresentaram valores distintos para cada caso de detalhamento, considerando as limitações e o projeto adotado no trabalho.

No *software* “A”, ocorreu um acréscimo de consumo da ordem de 3,1% para o detalhamento por faixas em relação à armadura única. Já nos *softwares* “B” e “C” houve uma redução de consumo de 2,92% e 16,38%, respectivamente, no detalhamento pelo 2º critério em relação ao 1º.

O comparativo entre os consumos totais de aço fornecidos pelos três *softwares* resultou em certas particularidades (apontados entre parênteses, após o nome de cada *software*, a quantidade a mais de consumo de aço em relação ao primeiro da lista):

- Armadura única em cada direção: “A” (1,00); “C” (1,42) e “B” (1,69);
- Armadura por faixas de momento: “A” (1,00); “C” (1,15) e “B” (1,59).

Os programas computacionais são ferramentas imprescindíveis na elaboração de projetos. No entanto, a escolha do *software* utilizado, suas configurações e, especialmente, as interpretações dos resultados não podem ser exercidas por máquinas, mas sim por profissionais qualificados e dedicados.

5. REFERÊNCIAS

AltoQi, Tecnologia aplicada à Engenharia. Disponível em:
<<http://www.altoqi.com.br/software/projeto-estrutural/eberick-v10>>. Acesso em: 18 de julho de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1995. 382 p.

LEONHARDT, Fritz; MONNIG, Eduard. **Construções de concreto vol. 1: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1977. 305 p.

MARTHA, Luiz Fernando. **Método dos elementos finitos**: modelos de elementos finitos para análise estrutural. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 1994. 52 p.

MULTIPLUS. **CYPECAD Curso Prático Interativo**. 2014.

ROCHA, Aderson Moreira da. **Concreto armado**. São Paulo: Ed. Nobel, 1985 - 1999. 1 v.

TQS, Informática Ltda, Funcionamento Geral. Disponível em:
<<http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs/visao-geral/funcionamento-geral>>. Acesso em: 26 de julho de 2017.

SOUZA, Marcos Roberto de. **Análise comparativa entre dois softwares comerciais para dimensionamento de estruturas em concreto armado**. 2014. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

VERGUTZ, Juliano André; CUSTÓDIO, Ricardo. **Análise comparativa de resultados obtidos de softwares de dimensionamento de estruturas de concreto**. 2010. 189 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) , Universidade Federal do Paraná, Curitiba.