

ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO COM ARMADURA EM AÇO CONVENCIONAL (VERGALHÃO) E TELAS SOLDADAS

COMPARATIVE ANALYSIS OF SLABS SIZING OF MASSIVE CONCRETE REINFORCED WITH CONVENTIONAL STEEL (REBAR) AND WELDED GRID

GUILHERME HENRIQUE BOSKA CORRÊA^{1*}, JOÃO DIRCEU NOGUEIRA CARVALHO²

1. I. Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Ingá; 2. Engenheiro Civil, Doutor pela Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Docente adjunto do curso de Engenharia Civil – UNINGÁ, Maringá.

* Rua Juventino Baraldi, 709, Vila Franchello, Mandaguaçu, Paraná, Brasil. CEP: 87160-000. guilherme_guilhermehenrique@hotmail.com

Recebido em 11/07/2016. Aceito para publicação em 22/09/2016

RESUMO

A utilização de telas soldadas em placas de concreto armado está crescendo rapidamente em âmbito nacional, desde sua chegada nos anos 50 no Brasil. O emprego deste “novo” material traz agilidade, facilidade e qualidade na armação de placas, se comparada com os vergalhões em aço. O dimensionamento da laje se dará através do processo de Marcus que facilita e simplifica o dimensionamento, em vez de teorias tão complexas como os Métodos das Diferenças Finitas e o dos Elementos Finitos, possuindo a mesma função de determinar os momentos atuantes na laje para o detalhamento e comparação entre os dois tipos de forma de utilização do aço em seus detalhamentos finais. A NBR 6118/2014 regulamenta os procedimentos de cálculo e detalhamento de lajes maciças. Esta e outras normas e documentos técnicos científicos disponibilizados pelo IBTS e catálogos de ferragens de fabricantes (telas soldadas e vergalhões), servem para dar parâmetros e informações para conversão do detalhamento de vergalhão para tela soldada para que possa ser feito a comparação quantitativa e qualitativa de consumo de aço nas lajes propostas.

PALAVRAS-CHAVE: Laje maciça, concreto armado, tela soldada.

ABSTRACT

The use of welded grid in reinforced concrete slabs is growing fast nationwide since it's arrival in the 50s in Brazil. The use of this "new" material brings agility, ease and quality in the frame of plaques, compared to rebar steel. The dimensioning of the slab will be through Marcus process that facilitates and simplifies the sizing, instead of complex theories as methods of Finite Differences and Finite Elements, having the same function to determine the active moments in the slab for details and comparison between the two types of form of use of steel in its final detailing. The NBR 6118/2014 regulates the procedures for calculation and detailing of solid slabs. This and other rules and scientific technical documents provided by the IBTS and hardware catalogs manufacturers (welded and rebar grid) are used as parameters and information for conversion of rebar

detailing for welded screen so it can be made quantitative and qualitative comparison consumption of steel in slabs proposals.

KEYWORDS: Massive slab, reinforced concrete, welded grid.

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado utilizado nos dias atuais é vastamente empregado nos mais diversos tipos de estruturas, graças ao fruto do trabalho de inúmeros indivíduos em centenas de anos aperfeiçoando materiais, compostos, técnicas, teorias, métodos e formas estruturais¹.

Para Carvalho (2008)¹ “Muitos foram os pioneiros no estudo desse novo material, o concreto armado, mas sem dúvida, um dos mais importantes pesquisadores do concreto armado foi o engenheiro alemão Emil Mörsch.” As normas utilizadas para dimensionamento e especificação de aço para concreto armado, partiu de resultados obtidos pelo engenheiro alemão Emil Mörsch. Mörsch desenvolveu estudos de Koenen e embasou seus resultados através de ensaios laboratoriais, onde em 1902, publicou um livro apresentando ao mundo seus resultados experimentais e as bases científicas do concreto armado. A partir destes resultados foram feitas as normas de concreto armado no mundo todo até mesmo a NBR 6118 que atualmente é regida pela NBR 6118/2014.

As normas 7480 e 7481 são normas de especificação do aço. Regulam a composição, a produção, o armazenamento, o transporte, etc. Portanto, de extrema importância para o concreto armado^{2,3}.

As placas de concreto armado são elementos de superfície, em que a espessura é muito menor em relação as demais dimensões⁴.

As lajes são placas que recebem carregamentos normais ao seu plano. Então as lajes maciças de concreto são estruturas laminares, tipo placa. Em caso de necessidade de espessuras elevadas para obter uma maior ri-

gidez se faz a utilização de lajes tais como as mistas ou nervuradas⁴.

Edificação é uma construção que tem por objetivo abrigar diferentes atividades humanas. Por ser tão importante é necessário estudos sobre o comportamento dos elementos estruturais que a constituem, tais como: lajes, vigas, pilares etc. A laje, o elemento estrutural a ser analisado, tem a função de receber os carregamentos de utilização, as cargas acidentais, e transmiti-los aos seus apoios, as vigas⁵.

Normalmente as lajes maciças de concreto armado têm espessuras variando entre 7 e 15 cm e são armadas longitudinal e transversalmente. Dependendo da direção das lajes armadas, tendo em vista que podem ser armadas em uma ou duas direções, podem possuir mais ou menos armaduras em uma ou outra direção^{6,7}.

Conforme Rizzo (2014)⁸ as lajes precisam atender algumas exigências estruturais:

Levando em conta a resistência (capacidade do material de suportar até certo carregamento sem se destruir), a rigidez (capacidade do corpo de suportar um determinado carregamento sem apresentar deformações inaceitáveis que o impeçam de os fins a que estava destinado) e a estabilidade (capacidade do corpo de conservar uma determinada forma inicial de equilíbrio).

Para a determinação dos esforços em lajes têm-se processos mais exatos (mais complexos) como os Métodos das Diferenças Finitas e o dos Elementos Finitos e processos mais simples e rápidos como os processos de Czerny e o de Marcus, baseados na Teoria das Grelhas⁹.

Estes processos de analogia da grelha são baseados na substituição de uma laje em si, por uma grelha equivalente. Supondo-se que a laje seja composta por uma série de vigas fictícias de um metro de largura, independentes entre si¹⁰.

Logo estes processos permitem a reprodução do comportamento estrutural das lajes com praticamente qualquer geometria, seja ele composto de lajes de concreto armado maciças, nervuradas ou mistas¹¹.

O processo de Marcus corrige resultados considerados conservadores pela analogia das grelhas, quando comparadas com o cálculo exato (placa propriamente dita). A falta de exatidão da analogia das grelhas é por não levar em consideração a ação favorável da união entre as faixas e a existência dos momentos torçores¹².

Através do confronto dos resultados, Marcus obteve informações relevantes, demonstrando que os momentos fletores positivos eram relativamente altos e que os negativos eram equivalentes, assim Marcus propôs os coeficientes de correção dos momentos fletores positivos (α_x e α_y). Por sua praticidade e confiabilidade dos resultados, tornou-se um processo de uso rotineiro¹².

É usual a utilização de barras de aço como armadura

de lajes maciças de concreto armado, mas a partir da década de 50 tivemos a opção das telas soldadas. Hoje o Brasil possui o Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS), criado em 1983, por iniciativa dos fabricantes de telas soldadas com o intuito de expor material técnico, palestras, entre outros¹³.

As telas soldadas nervuradas de aço para laje de concreto armado são armaduras pré-fabricadas, soldadas em todos os pontos de cruzamento (nós). Nas lajes elas são usadas tanto para armaduras positivas (inferiores), quanto para armaduras negativas (superiores). O Instituto Brasileiro de Telas soldadas tem estudos que indicam qual é a melhor opção para cada tipo de laje, tendo em vista que são utilizadas em lajes maciças, nervuradas, pré-moldadas, pisos entre várias outras aplicações¹⁴.

Junior, Cholfe (1989)¹⁵ afirmam que:

O emprego de telas soldadas, na execução das lajes maciças, resolve e facilita grandemente a colocação das armaduras, melhorando a qualidade do produto final em relação à solução de armadura convencional. A montagem ganha em rapidez e precisão, o acompanhamento técnico fica simplificado, e as perdas por desbitolamento e sobras são eliminadas.

Existem cinco tipos de telas soldadas para concreto armado (L, M, Q, R e T), sendo três tipos de relação entre dimensão longitudinal e transversal, logo as três dimensões são: a tipo Q (dimensão transversal e longitudinal iguais), $As_l = As_t$; tipo L, M e R (dimensão transversal menor que a longitudinal), variando-se quase sempre, tendo como exceções, as diferenças entre os espaçamentos transversais e (ou) seções da armadura, $As_t < As_l$ e o tipo T (dimensão transversal maior que a longitudinal), $As_t > As_l$. As telas mais utilizadas e fabricadas são as executadas com aço CA-60¹⁴.

Diante destas questões, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo principal de dimensionar de forma numérica e comparar resultados obtidos em lajes maciças de concreto utilizando dois tipos de armação com aço CA-60: a armação com vergalhões e a com telas soldadas. Ressaltamos que a análise desenvolvida neste trabalho visa apenas o consumo de aço.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, adotamos um pavimento tipo de um edifício escolar (Figura 1). Elaborada a planta de fôrma, as lajes foram calculadas por meio do Processo de Marcus, e obtidos seus momentos compensados, foram dimensionadas e detalhadas com vergalhões e com telas soldadas.

Identificação e caracterização das lajes

As lajes do Pavimento Tipo foram discretizadas, identificadas e caracterizadas em função de suas vinculações e da relação entre seus lados.

As lajes com $0,5 \leq \lambda \leq 2,0$ consideradas armadas em Cruz, foram classificadas como tipos 1 ao 6 conforme a vinculação de seus lados, e calculadas pelo Processo de Marcus. As lajes com $\lambda < 0,5$ ou $\lambda > 2,0$ foram calculadas como lajes armadas em uma direção. Conforme a convenção de Marcus:

$$\lambda = \ell_y / \ell_x \text{ (Equação 1)}$$

Sendo:

- ℓ_x : O lado mais vinculado ou menor lado em caso de igualdade nas vinculações

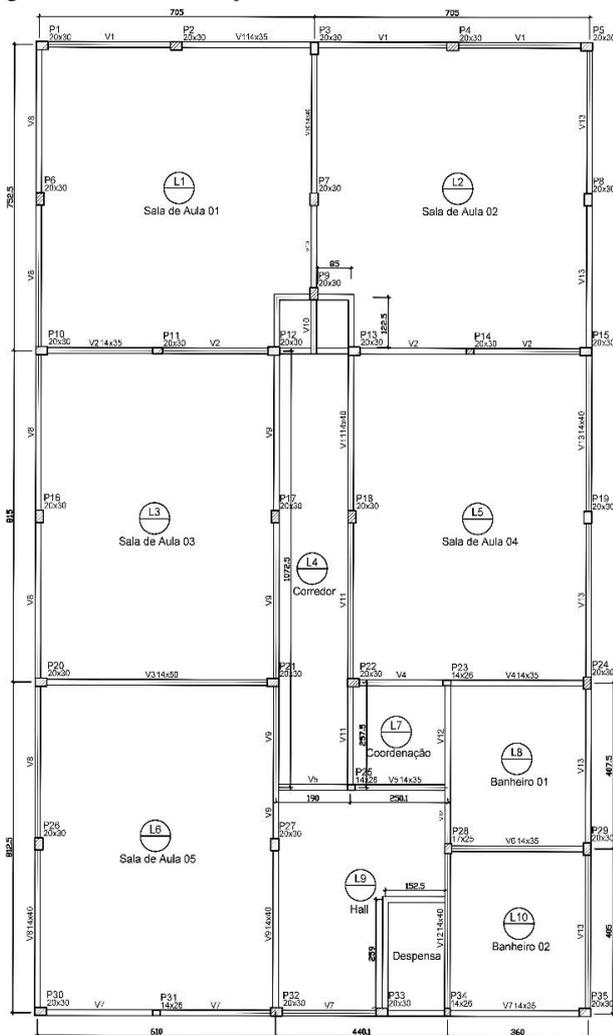


Figura 1. Planta de fôrma do pavimento tipo proposto.
Fonte: o autor.

Conforme Marcus, as lajes se classificam como: Tipo 1 (todas as bordas simplesmente apoiadas); tipo 2 (uma borda engastada); tipo 3 (duas bordas adjacentes engas-

tadas); tipo 4 (duas bordas opostas engastadas); tipo 5 (três bordas engastadas) e tipo 6 (todas as bordas engastadas)¹⁶.

Composição dos carregamentos nas lajes

Para composição dos carregamentos sobre a laje, conforme a NBR 6120/1980¹⁷, utilizou-se os seguintes valores:

- Salas de aula e corredores com acesso ao público – 3,0 kN/m²;
- Banheiros e outras salas ou ambientes – 2,0 kN/m²;
- Alvenaria de tijolos furados – 13,0 kN/m³.

Quanto a durabilidade do concreto foi adotado concreto C25, classe de agressividade I, com cobrimento de 15 mm. Para as armaduras foi adotado o CA-60, tanto para vergalhões como para as telas soldadas.

Estimativa de altura das lajes

A estimativa da altura para a determinação dos pesos próprios das lajes, foi feita conforme a adaptação à antiga regulamentação da NBR 6118 (75), feita por Carvalho (2007)¹⁶, observando que o valor fornecido pela equação 2 é de 15 a 20% superior ao valor obtido pelas flechas limites.

$$h \geq \frac{\ell}{\Psi_2 \times \Psi_3} \text{ (Equação 2)}$$

Sendo:

- h = Estimativa de altura para a laje;
- ℓ = Menor lado;
- Ψ_2 = Coeficiente dependente da vinculação e dimensão da laje;
- Ψ_3 = Coeficiente dependente do tipo de aço (= 20 para o aço CA-60).

Altura mínima das lajes

As alturas das lajes foram determinadas através da limitação dos deslocamentos das flechas. Foi adotado o deslocamento máximo de um duzentos e cinquenta avos do menor vão para a flecha total, a soma das flechas imediatas e deferida ao tempo.

Momentos fletores

Para o cálculo dos momentos fletores em lajes armadas em cruz deve ser utilizadas as formulas a seguir, já para lajes armadas em uma direção, calcula-se através de formulas de cargas uniformemente distribuídas.

$$M_x = \frac{p \cdot \ell_x^2}{m_x} \text{ (Equação 3)}$$

$$M_y = \frac{p \cdot \ell_x^2}{m_y} \text{ (Equação 4)}$$

$$X_x = \frac{p \cdot \ell_x^2}{n_x} \text{ (Equação 5)}$$

$$X_y = \frac{p \cdot l_x^2}{n_y} \text{ (Equação 6)}$$

Sendo:

- Mx, My, Xx e Xy = Momentos fletores não compensados;
- lx: O lado mais vinculado ou menor lado em caso de empate de vinculações;
- p = Carregamento total na laje (kN/m²);
- mx, my, nx, ny = Coeficientes de Marcus.

No detalhamento utilizou-se os materiais técnicos científicos disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Telas Soldadas - IBTS, como o estudo das emendas ou até mesmo o livro sobre o projeto com tela soldada e modelo de detalhamento das lajes tanto em armadura convencional quanto em tela soldada. São disponibilizados também pelo IBTS alguns programas de dimensionamento e detalhamento de Telas Soldadas (IBTS Flex e IBTS 6.2). Neste artigo não foi utilizado qualquer programa de detalhamento, mesmo sendo disponibilizado gratuitamente.

Todos os cálculos foram desenvolvidos, conforme a literatura técnica de concreto armado, adotada nos cursos de graduação em engenharia civil

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como o aço CA-60 é o aço mais utilizado para as telas soldadas, foi adotado também para os vergalhões.

Tabela 1. Informações geométricas relevantes de lajes para aço CA-60

Lajes	Locais	lx (m)	ly (m)	λ	Tipo da Laje	Direção	h final (m)
L1	Sala 01	7,050	7,520	1,07	Tipo 3	2 Direções	0,145
L2	Sala 02	7,050	7,520	1,07	Tipo 3	2 Direções	0,145
L3	Sala 03	8,150	6,100	0,75	Tipo 5	2 Direções	0,125
L4	Corredor	1,900	10,725	5,64	Tipo 6	1 Direção	0,125
L5	Sala 04	8,150	6,100	0,75	Tipo 5	2 Direções	0,125
L6	Sala 05	6,100	8,125	1,33	Tipo 3	2 Direções	0,135
L7	Coordenação	2,500	2,575	1,03	Tipo 6	2 Direções	0,125
L8	Banheiro 01 Hall +	4,075	3,600	0,88	Tipo 5	2 Direções	0,125
L9	Despensa	4,401	5,550	1,26	Tipo 5	2 Direções	0,125
L10	Banheiro 02	3,600	4,050	1,13	Tipo 3	2 Direções	0,125

Fonte: o autor.

Todas as lajes com estimativas de alturas superiores a 8,0 cm tiveram suas alturas determinadas pela limitação dos deslocamentos, tendo em vista que a altura mínima das lajes de piso é de 8,0 cm. Portanto as alturas finais foram adotadas de acordo com as obtidas através da flecha máxima permitida por norma. Posteriormente foi feita a homogeneização das alturas, ou seja, para lajes próximas foi adotada a mesma altura, sempre maior que a mínima.

As alturas das lajes após a padronização, foi apresentada na tabela 1, onde se adotou três alturas para as lajes do pavimento, 12,5; 13,5 e 14,5 cm.

Tabela 2. Carregamentos finais das lajes (kN/m²).

Lajes	Ppróprio	Revesti-mento	Utilização (q)	Paredes	Total
L1	3,625	1,000	3,000	0,249	7,87
L2	3,625	1,000	3,000	0,249	7,87
L3	3,125	1,000	3,000	0,000	7,13
L4	3,125	1,000	3,000	0,000	7,13
L5	3,125	1,000	3,000	0,000	7,13
L6	3,375	1,000	3,000	0,000	7,38
L7	3,125	1,000	2,000	0,000	6,13
L8	3,125	1,000	2,000	0,000	6,13
L9	3,125	1,000	3,000	1,073	8,20
L10	3,125	1,000	2,000	0,000	6,13

Fonte: o autor.

Verifica-se na tabela 2, que somente as lajes 1,2 e 9 possuem cargas referente a paredes, isso ocorre devido somente estas lajes possuírem parede sobre as lajes. Os carregamentos totais, são carregamentos usuais utilizados em cada ambiente obtidos através da geometria das lajes e carregamentos extras como paredes em cima da laje.

Os momentos fletores são informados a seguir na tabela 3, onde foram calculados cada momento fletor mediante as tabelas desenvolvidas e as equações (3, 4, 5, e 6) pelos cálculos através dos coeficientes de Marcus, para que possa ser feito o detalhamento das lajes maciças.

Tabela 3. Momentos Fletores solicitantes nas lajes.

Lajes	mx	My	nx	ny	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Xx (kN.m)	Xy (kN.m)
L1	32	37	14	16	12,23	10,58	-27,96	-24,46
L2	32	37	14	16	12,23	10,58	-27,96	-24,46
L3	74	49	30	23	6,40	9,66	-15,78	-20,58
L4	-	-	-	-	1,07	-	-2,14	-
L5	74	49	30	23	6,40	9,66	-15,78	-20,58
L6	23	41	10	19	11,93	6,69	-27,44	-14,44
L7	52	56	22	24	0,74	0,68	-1,74	-1,60
L8	55	48	22	23	1,85	2,12	-4,62	-4,42
L9	34	62	14	30	4,67	2,56	-11,34	-5,29
L10	29	38	13	16	2,74	2,09	-6,11	-4,96

Fonte: o autor.

Como as lajes foram discretizadas e calculadas individualmente, ao reagrupalas é feita a compensação dos momentos. Por meio dos momentos fletores compensados, são determinadas as armaduras positivas e negativas e detalhadas conforme mostrado na Figura 2.

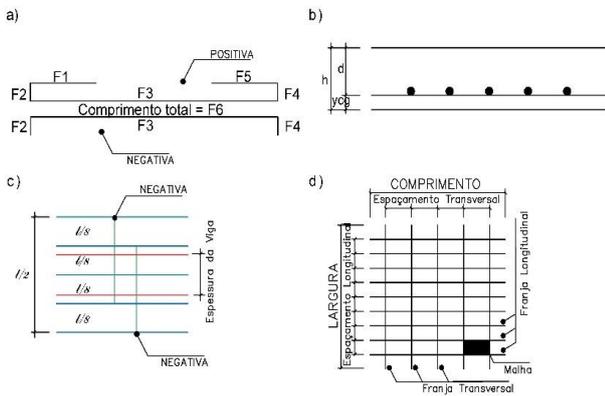


Figura 2. a) Representação das armaduras positivas e negativas; b) Representação de uma laje maciça genérica; c) Representação das disposições das armaduras negativas nas lajes, o l é o maior vão entre os menores das lajes contiguas; c) Representação dos componentes e elementos que compõem a tela soldada. **Fonte:** o autor.

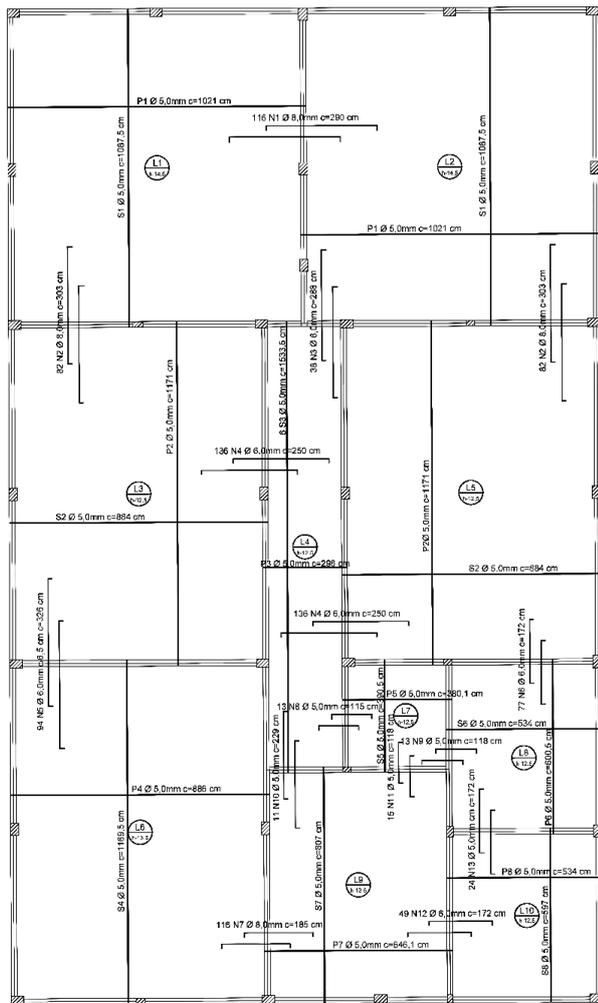


Figura 3 – Detalhamento das armaduras positivas e negativas em aço tipo vergalhão. **Fonte:** o autor.

Compensados os momentos, as armaduras positivas e negativas são calculadas. O detalhamento das armaduras positivas e negativas com a utilização de vergalhões é apresentado na Figura 3.

As Figuras 4 e 5 apresentam os detalhamentos das armaduras positivas e negativas em tela soldada.

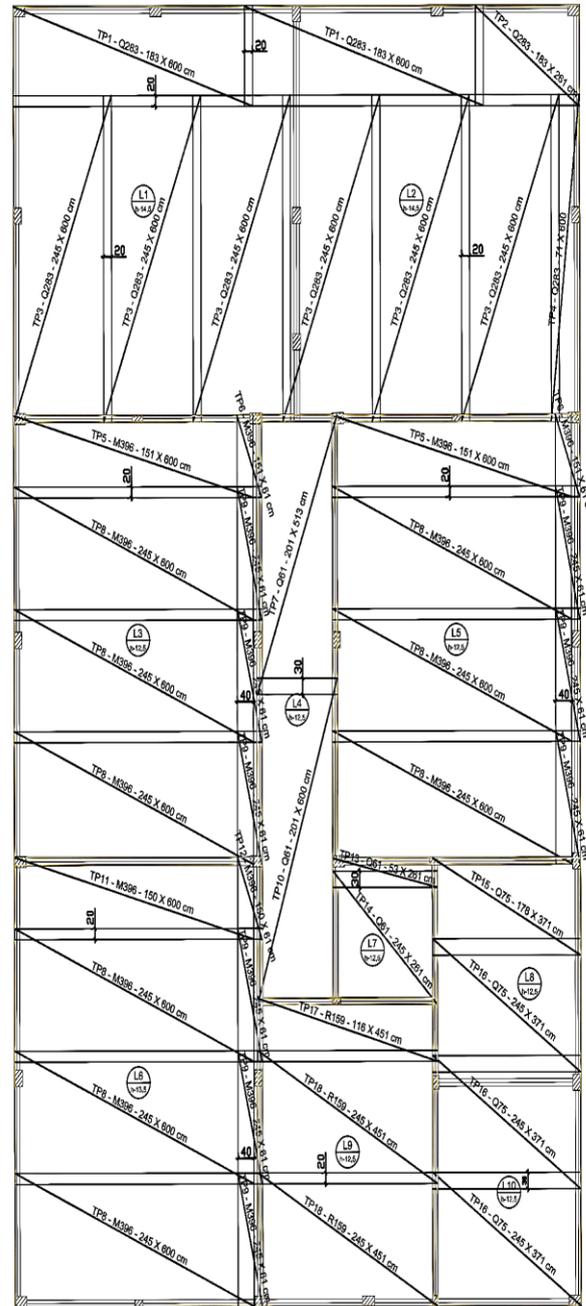
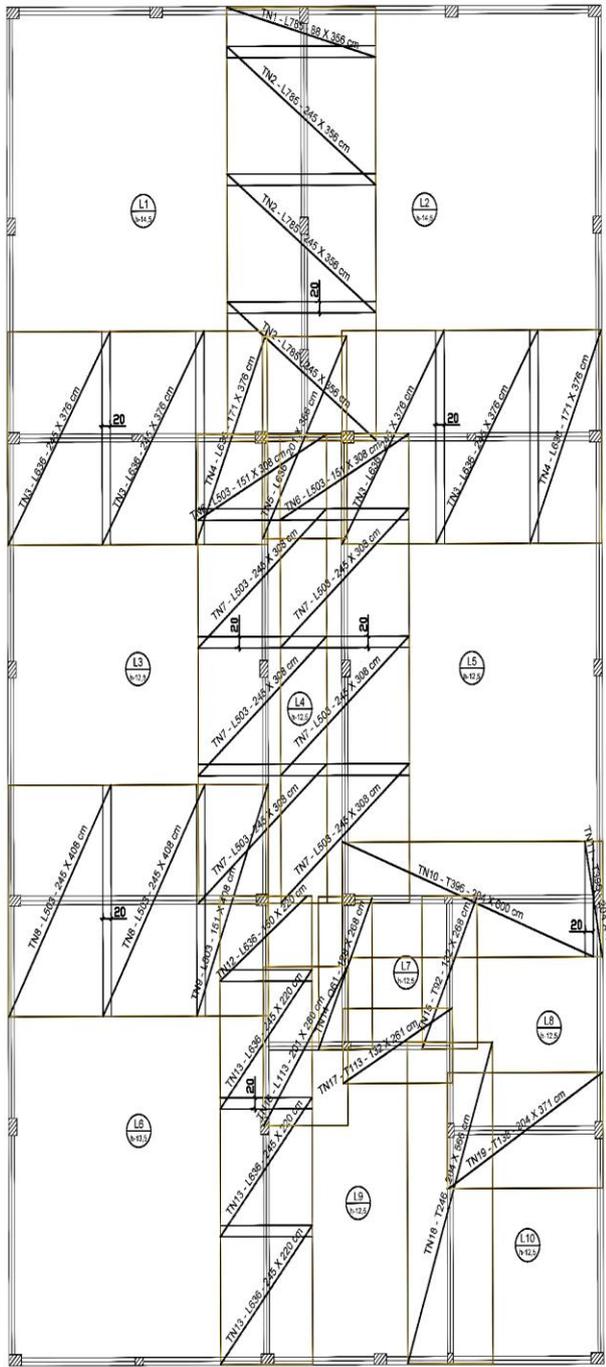


Figura 4. Detalhamento das armaduras positivas em tela soldada. **Fonte:** o autor.



LEGENDA:
 TN = Tela soldada - armadura negativa;
 Simbologia = Nomenclatura - tipo de tela - Dimensões (Transversal x Longitudinal) em cm.

Figura 5 – Detalhamento das armaduras negativas em tela soldada.
 Fonte: o autor.

As Tabelas 4, 5 e 6, apresentam a Tabela de Ferros e o Resumo do Aço para vergalhões CA-60, e as Tabelas 7 e 8, apresentam a Tabela de Ferros e o Resumo do Aço para telas soldadas CA-60.

Tabela 4. Comprimento das barras das armaduras (positivas e negativas) em vergalhão.

Ferro	Mf (kN.m)	Dimensões das barras (cm)						Espaçamento (cm)
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	
P1	12,23	141,0	11,5	716,0	11,5	141,0	1021,0	6,5
S1	13,03	150,5	11,5	763,5	11,5	150,5	1087,5	6,0
P2	6,74	163,0	9,5	826,0	9,5	163,0	1171,0	10,5
S2	11,72	122,0	9,5	621,0	9,5	122,0	884,0	5,5
P3	1,17	38,0	9,5	201,0	9,5	38,0	296,0	20,0
S3	0,00	214,5	9,5	1083,5	9,5	214,5	1531,5	33,0
P4	14,67	122,0	10,5	621,0	10,5	122,0	886,0	5,0
S4	6,69	162,5	10,5	823,5	10,5	162,5	1169,5	12,0
P5	0,74	50,0	9,5	261,1	9,5	50,0	380,1	20,0
S5	0,68	51,5	9,5	268,5	9,5	51,5	390,5	20,0
P6	1,85	81,5	9,5	418,5	9,5	81,5	600,5	20,0
S6	2,56	72,0	9,5	371,0	9,5	72,0	534,0	20,0
P7	5,80	88,0	9,5	451,1	9,5	88,0	646,1	12,5
S7	3,09	111,0	9,5	566,0	9,5	111,0	807,0	20,0
P8	2,74	72,0	9,5	371,0	9,5	72,0	534,0	20,0
S8	2,18	81,0	9,5	416,0	9,5	81,0	597,0	20,0
N1	-27,96	0,0	11,5	267,0	11,5	0,0	290,0	6,5
N2	-20,12	0,0	9,5	282,0	11,5	0,0	303,0	7,5
N3	-19,57	0,0	9,5	267,0	11,5	0,0	288,0	5,0
N4	-16,46	0,0	9,5	231,0	9,5	0,0	250,0	6,0
N5	-15,11	0,0	10,5	306,0	9,5	0,0	326,0	6,5
N6	-12,62	0,0	9,5	153,0	9,5	0,0	172,0	8,0
N7	-21,95	0,0	10,5	165,0	9,5	0,0	185,0	7,0
N8	-1,94	0,0	9,5	96,0	9,5	0,0	115,0	20,0
N9	-3,54	0,0	9,5	99,0	9,5	0,0	118,0	20,0
N10	-4,23	0,0	9,5	210,0	9,5	0,0	229,0	17,5
N11	-4,23	0,0	9,5	99,0	9,5	0,0	118,0	17,5
N12	-9,07	0,0	9,5	153,0	9,5	0,0	172,0	11,5
N13	-4,79	0,0	9,5	153,0	9,5	0,0	172,0	15,5

Fonte: o autor.

Tabela 5. Ferros em vergalhão CA-60

Ferro	φ (mm)	Quantidade de barras	Comprimento (cm)		Ferro	φ (mm)	Quantidade de barras	Comprimento (cm)	
			unitário	total				unitário	total
P1	5,0	116	1021,0	118436	N1	8,0	116	290,0	33640
S1	5,0	118	1087,5	128325	N2	8,0	82	303,0	24846
P2	5,0	59	1171,0	69089	N3	6,0	38	288,0	10944
S2	5,0	149	884,0	131716	N4	6,0	136	250,0	34000
P3	5,0	54	296,0	15984	N5	6,0	94	326,0	30644
S3	5,0	6	1531,5	9189	N6	6,0	77	172,0	13244
P4	5,0	163	886,0	143975	N7	8,0	116	185,0	21460
S4	5,0	51	1169,5	59450	N8	5,0	13	115,0	1495
P5	5,0	13	380,1	4894	N9	5,0	13	118,0	1534
S5	5,0	13	390,5	4883	N10	5,0	11	229,0	2519
P6	5,0	18	600,5	10809	N11	5,0	15	118,0	1770
S6	5,0	21	534,0	11214	N12	6,0	49	172,0	8428
P7	5,0	45	646,1	29075	N13	5,0	24	172,0	4128
S7	5,0	22	807,0	17758					
P8	5,0	21	534,0	11214					
S8	5,0	18	1531,5	27567					

Fonte: o autor.

Tabela 6. Resumo de aço CA-60 em vergalhão.

φ (mm)	Peso (Kg/m)	Comprimento total (cm)	Peso (Kg)
5,0	0,154	805023	1239,736
6,0	0,222	97260	215,917
8,0	0,395	79946	315,787
Σ			1771,439

Fonte: o autor

Tabela 7. Ferros em tela soldada CA-60

Tela	Tipo de Tela	Qtd. de telas	Dimensão (cm)		Área (m ²)	Tela	Tipo de Tela	Qtd. de telas	Dimensão (cm)		Área (m ²)
			Larg.	Compr					Larg.	Compr	
TP1	Q283	2	183	600	21,96	TN1	L785	1	88	356	3,13
TP2	Q283	1	183	261	4,78	TN2	L785	3	245	356	26,17
TP3	Q283	6	245	600	88,20	TN3	L636	4	245	376	36,85
TP4	Q283	1	71	600	4,26	TN4	L636	2	171	376	12,86
TP5	M396	2	151	600	18,12	TN5	L636	1	201	356	7,16
TP6	M396	2	151	61	1,84	TN6	L503	2	151	308	9,30
TP7	Q61	1	201	513	10,31	TN7	L503	6	245	308	45,28
TP8	M396	9	245	600	132,30	TN8	L503	2	245	408	19,99
TP9	M396	9	245	61	13,45	TN9	L503	1	151	408	6,16
TP10	Q61	1	201	600	12,06	TN10	T396	1	204	600	12,24
TP11	M396	1	150	600	9,00	TN11	T396	1	204	41	0,84
TP12	M396	1	150	61	0,92	TN12	L636	1	150	220	3,30
TP13	Q61	1	53	261	1,38	TN13	L636	3	245	220	16,17
TP14	Q61	1	245	261	6,39	TN14	Q61	1	128	268	3,43
TP15	Q75	1	178	371	6,60	TN15	T92	1	132	268	3,54
TP16	Q75	3	245	371	27,27	TN16	L113	1	201	280	5,63
TP17	R159	1	116	451	5,23	TN17	T113	1	132	261	3,45
TP18	R159	2	245	451	22,10	TN18	T246	1	204	566	11,55
						TN19	T138	1	204	371	7,57

Fonte: o autor.

Tabela 8. Resumo de aço CA-60 em tela soldada.

Tela	Peso (Kg/m ²)	Área (m ²)	Peso (Kg)
Q61	0,97	33,58	32,572
Q75	1,27	33,87	43,018
T92	1,12	3,54	3,962
L113	1,21	5,63	6,810
T113	1,22	3,45	4,203
T138	1,49	7,57	11,277
R159	2,11	27,33	57,668
T246	2,64	11,55	30,482
Q283	4,48	119,20	533,999
M396	4,73	175,63	830,719
T396	3,92	13,08	51,259
L503	4,77	80,73	385,084
L636	5,84	76,33	445,784
L785	7,03	29,30	205,971
Σ			2642,808

Fonte: o autor.

Análise dos resultados

A armação com vergalhões resultou em um consumo de 1771,44 kg de ferro enquanto a armação com telas soldadas resultou em um consumo de 2642,81 kg, ou seja, a armação com telas soldadas implicou em um consumo de aço 49,19% superior ao realizado com vergalhões.

Uma análise criteriosa mostra que ao se comparar separadamente as armaduras positivas e negativas, verifica-se para as positivas um consumo de aço para as telas soldadas, 18,23% superior ao consumo de aço em vergalhões. A mesma análise feita para as armaduras negativas mostra um consumo de aço para as telas soldadas, 52,15% superior ao consumo de aço em vergalhões.

Estes dados indicam que uma combinação entre vergalhões e telas soldadas seria a melhor solução neste estudo de caso. As ferragens positivas em tela soldada proporcionam maior agilidade, facilidade e qualidade nas armações e o consumo de aço não é extraordinariamente maior que o dos vergalhões. Já para as armaduras negativas em tela soldada o consumo é muito mais elevado, inviabilizando talvez a sua utilização. Cabe a observação

que a armadura positiva trabalha nas duas direções enquanto a negativa trabalha em apenas uma direção, significando que no caso da tela soldada a armadura em uma das direções é desperdiçada.

Com base na agilidade e facilidade de execução de armaduras em tela soldada, realmente põem-se em cheque o que é viável ou não, pois economizar em armadura talvez gaste mais em mão-de-obra.

4. CONCLUSÃO

Tratando-se de um estudo de caso, não é possível estabelecer conclusões definitivas, mas os resultados obtidos indicam, sem dúvida, um aumento do consumo de aço com o uso das telas soldadas. As causas deste maior consumo são facilmente percebidas no detalhamento das telas soldadas. Por exemplo, no caso das armaduras positivas, onde o aumento do consumo é menor:

- Assim como para os vergalhões, na escolha da bitola comercial e do espaçamento, adotamos uma armadura ligeiramente superior à calculada, no caso das telas soldadas o espaçamento tem uma variação muito superior que a variação de 5 mm para os vergalhões, e pior, nas duas direções;

- A sobreposição das telas soldadas, sem dúvida é um fator de acréscimo no consumo de aço.

No caso das armaduras negativas, onde o aumento do consumo mais que duplica, verifica-se que além dos dois quesitos mencionados para a armadura positiva, ainda temos o fato, já mencionado de que a armadura em uma das direções é desperdiçada.

Mas este estudo comparativo nos dá indícios de que a utilização em conjunto das armaduras em tela soldada para a armadura positiva e vergalhões para a negativa seria uma boa solução.

É de conhecimento geral as facilidades da execução em telas soldadas, assim como a economia de mão de obra, agilidade e redução do tempo de execução. Estes fatores não foram considerados neste trabalho, mas sem dúvida, todos eles são fatores redutores de custo, que sem dúvida iriam se contrapor ao aumento do consumo de aço com a utilização das telas soldadas, mas isto seria assunto para um trabalho mais amplo, envolvendo as áreas de orçamento, gestão etc.

Não foi considerado também as perdas e/ou reaproveitamento de telas e vergalhões.

Identificou-se também que em lajes armadas em duas direções e que possuem momentos fletores relativamente baixos há uma perda de consumo de aço, tendo em vista que o diâmetro mínimo das armaduras de lajes é o 5,0 mm para os vergalhões. No entanto em telas soldadas podem ser utilizadas menores diâmetros consequentemente consumindo menos armadura e economizando.

Recomenda-se que seja feito estudos mais abrangentes focando os custos de mão de obra e execução em telas soldadas, em vergalhões a solução mista, telas para os

momentos positivos e vergalhões para os negativos.

Também poderia se testar o dimensionamento e detalhamento por intermédio dos programas disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Telas Soldadas para uma análise comparativa de detalhamento de forma numérica e por intermédio de recursos computacionais.

REFERÊNCIAS

- [1] Carvalho JDN. Sobre as Origens e Desenvolvimento do Concreto. Rev. Tecn. 2008; V.17: p19 – 28. Pag. Utilizada 31.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7480/2007 - Barras e Fios de Aço Destinados a Armadura para Concreto Armado – Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7481/90 - Tela de Aço Soldada – Armadura para Concreto – Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
- [4] Argenta MA. Estruturas de Concreto I. In: Machado RD. Lajes Maciças de Concreto Armado. Curitiba: UFPR; 2012.
- [5] Pinheiro LM. Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios. In: Pinheiro LM, Muzardo CD, Santos SP. Lajes Maciças. São Carlos: EdUFScar, 2010. P. 11.1 – 11.29.
- [6] Bastos PSS. Lajes de Concreto. Bauru: UNESP; 2015.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118/2014 - Cálculo e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- [8] Rizzo IML. Tópicos em Mecânica dos Sólidos – Parte I (Notas de Aula em Elaboração). Maringá: UNINGÁ; 2014.
- [9] Bandeira MS. Análise não-linear de Lajes de Concreto Armado pelo Método dos Elementos Finitos [Dissertação]. Goiânia: Universidade Federal de Goiás; 2006.
- [10] Carvalho JDN. Estruturas em Concreto I – Notas de Aula A. Maringá: UEM; 2002.
- [11] Silva MAF, Filho JRF, Carvalho RC. A Utilização da Analogia de Grelha para Análise de Pavimentos de Edifícios em Concreto Armado. V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto; 7 a 10 de junho de 2003; São Paulo.
- [12] Camacho JS. Curso de Concreto Armado (NBR 6118/2003): Estudo das Lajes. Ilha Solteira: UNESP; 2004.
- [13] Instituto Brasileiro de Telas Soldadas. Disponível em< <http://www.ibts.org.br/index.asp>>. Acesso em 11 de maio de 2016.
- [14] Rodrigues PPF, Faria BM, Silva JBR. Novos Critérios para Pavimentos Industriais de Concreto Armado – Pavimentos Industriais de Concreto Armado. São Paulo: IBTS; 2015.

- [15] Junior FBF, Cholfe L. Lajes: Projeto com Tela Soldada. 1º Ed. São Paulo: Pini; 1989.
- [16] Carvalho JDN. Lajes de Concreto Armado – Notas de Aula. Maringá: DEC-UEM; 2007.
- [17] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6120/80 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.