

COMPARATIVO DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE LAJES EM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO

COMPARISON OF THE USE OF DIFFERENT TYPES OF SLABS IN A REINFORCED CONCRETE BUILDING

MARIANNE SILVA GUIMARÃES

Acadêmica de Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Goiás
marianne_silva13@hotmail.com

CAMILLA REZENDE SILVA

Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Goiás
engcivilcamilla@gmail.com

JULIANO RODRIGUES SILVA

Pós-Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de Brasília (UnB) e Docente da Universidade Estadual de Goiás (Anápolis, GO)
julianorodriguessilva@gmail.com

ISABELLA FARIA SANTOS

Acadêmica de Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Goiás
isa_bellafsanos@gmail.com

LUCAS DE OLIVEIRA ZÚÑIGA

Acadêmico de Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Goiás
lucas.zuniga7@gmail.com

Resumo: Neste trabalho é analisada a utilização de três tipos de laje em um edifício reticulado de concreto armado, sendo eles: laje maciça de concreto armado, laje nervurada com cubas plásticas e laje nervurada com vigota treliçada pré-moldada de concreto armado e blocos de EPS. Para tanto, são elaborados três projetos estruturais para a mesma planta baixa, uma para cada tipo de laje, por meio de um software comercial. São abrangidas definições a respeito dos três tipos de lajes, análise da viabilidade e o uso dos três tipos de lajes na estrutura. Os critérios que fazem parte dessa comparação são: comportamento da estrutura, quantitativos de materiais, carga na fundação e custos. Cada critério analisado apontou uma laje como melhor escolha, em função de suas características e vantagens. No que diz respeito ao comportamento da estrutura, as lajes maciças e nervuradas com cubas plásticas apresentaram melhores resultados. Quanto aos quantitativos de materiais, a laje com vigotas e EPS apresentou menor índice de consumo total em kg/m³. Na carga da fundação, é a laje nervurada com cubas plásticas que apresenta o menor valor, enquanto nos custos totais, o melhor resultado é da laje com vigotas e EPS.

Palavras-chave: Edifício. Concreto Armado. Lajes. Software.

Abstract: In this work, the use of three types of slabs in a reticulated reinforced concrete building is analyzed, being: solid reinforced concrete slab, ribbed slab with plastic vats and ribbed slab with precast reinforced concrete lattice beam and EPS blocks. For this purpose, three structural projects are designed for the same blue print, through a commercial software, one for each type of slab. Definitions regarding the three types of slabs, the feasibility analysis and the use of the three types of slabs in the structure are covered. The criteria that compose this comparison are: structure's behavior, quantity of materials, load on the foundation and the costs. Each criterion analyzed indicated a slab as the best choice, depending on its features and advantages. In what concerns the structure's behavior, both solid and ribbed slabs with plastic vats have presented better results. As for the material quantities, the slab with beams and EPS

showed the lowest total consumption index in kg / m³. In the foundation's load, the ribbed slab with plastic vats presents the lowest value, while in total costs the best result is the slab with beams and EPS.

Keywords: Building. Reinforced concrete. Slabs. Software.

Introdução

O concreto armado é a associação do concreto simples (argamassa + agregado graúdo) com a armadura, colocada de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes (armadura passiva). É utilizado com o objetivo de associar um elemento que possui boa resistência à compressão, no caso o concreto, a um elemento que possui boa resistência à tração, representado neste caso pelo aço.

A funcionalidade do conjunto concreto mais armadura é possível devido às forças de aderência existentes entre as superfícies dos dois materiais, pois as barras de aço tracionadas só funcionam quando começam a ser alongadas pela deformação do concreto que as envolve, o que caracteriza as armaduras passivas. É a aderência que faz com que o concreto armado se comporte como material estrutural (CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2004).

Nas estruturas de concreto, destacam-se elementos lineares (com uma dimensão predominante), elementos laminares (com duas dimensões predominantes) e elementos de bloco ou volumétricos (com três dimensões predominantes), que embora sejam considerados separadamente no cálculo, na verdade interagem para resistir às cargas impostas à estrutura. Esta interação entre eles deve ser verificada através de uma análise global da estrutura.

A laje é um dos elementos estruturais mais conhecidos, juntamente com a viga e o pilar. Este elemento aparece em construções desde a antiguidade, existindo hoje uma série de opções, utilizadas para atender a variadas necessidades. Em meio às novas técnicas e materiais constituintes, esta pesquisa contribuirá para analisar, com o auxílio do software CypeCAD, os tipos de lajes mais usuais e o efeito de sua aplicação em obras de edifícios de múltiplos andares por meio do estudo das diferenças entre os tipos de lajes e da comparação das estruturas resultantes de suas utilizações em edificações.

Revisão bibliográfica

- **Definição**

Sob o ponto de vista estrutural, lajes são elementos estruturais de superfície

plana, de concreto, cuja dimensão perpendicular à superfície (espessura), é relativamente pequena se comparada à largura e ao comprimento. Elas são sujeitas principalmente a ações normais a seu plano. No caso contrário, os elementos de superfície são chamados de chapas ou ainda de vigas-parede se forem de concreto e tiverem o vão da ordem de três vezes menor que a maior dimensão da seção transversal. Já os elementos estruturais de superfície não-planas são chamados de cascas. Os três casos mais comuns são exemplificados na Figura 1.

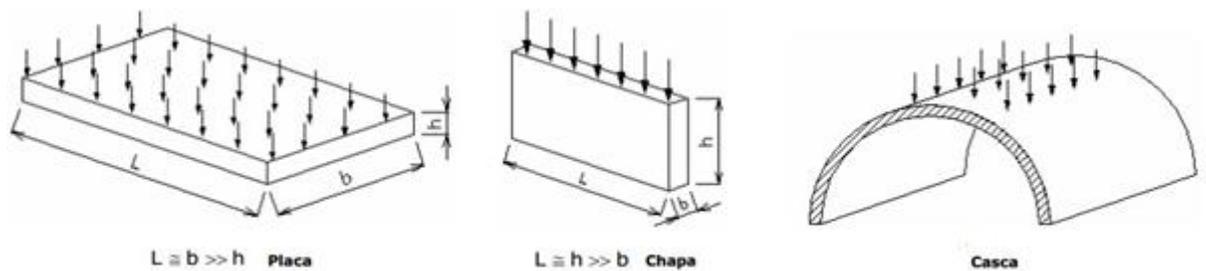


Figura 1 - Elementos estruturais de superfície
Fonte: CHAER, 2008

Destaca-se que nos edifícios de múltiplos pavimentos, as lajes são responsáveis por elevada parcela do consumo de concreto. Segundo o Manual de utilização EPS na Construção Civil (2006), no caso de lajes maciças esta parcela chega a quase dois terços do volume total da estrutura. Devido a isso, torna-se cabível o estudo aprofundado e comparativo dos critérios de escolha dos tipos de lajes.

Tipos de lajes

- **Lajes maciças de concreto**

São aquelas nas quais toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e eventualmente armaduras transversais, e apoiadas em vigas ou paredes ao longo das bordas. Lajes com bordas livres são casos particulares das lajes apoiadas nas bordas.

São comumente classificadas em lajes armadas em uma direção, quando a relação entre o lado maior e o lado menor é superior a dois, ou em lajes armadas em duas direções (ou em cruz) quando tal relação é menor que dois. No primeiro caso, os esforços solicitantes de maior magnitude ocorrem na direção do menor vão, enquanto

que no último caso, estes esforços se distribuem consideravelmente nas duas direções.

O dimensionamento de lajes maciças é regido principalmente pelas normas ABNT NBR 6118 (2007), NBR 6120 (1980) e NBR 8681 (2003), que definem fatores como altura mínima das lajes, cobertura e classe de agressividade ambiental a ser adotada, por exemplo.

- **Lajes nervuradas com cubas plásticas**

A laje nervurada pode ser vista como uma alternativa da laje maciça, com a qual se procura eliminar o concreto abaixo da linha neutra, criando-se vazios e podendo, assim, aumentar a altura da laje sem o aumento do consumo de concreto.

Segundo a ABNT NBR 6118 (2007), no item 14.7.7, a laje nervurada tem sua zona de tração para momentos positivos localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte, cuja resistência não contribui para aumentar a resistência da laje nervurada. São as nervuras, unidas e solidarizadas pela mesa, que proporcionam a necessária resistência e rigidez.

Elas também podem ser armadas uni ou bidirecionalmente, em função da existência de nervuras em apenas uma ou nas duas direções. Sua principal vantagem são os vazios que diminuem o peso próprio da laje. Tratada como um elemento estrutural constituído por vigas, em uma ou em duas direções ortogonais ou não, solidarizadas pela mesa ou capa de concreto, estas lajes têm comportamento estático intermediário entre o de uma grelha e o de uma laje maciça sendo seu dimensionamento regido pela NBR 6118 (ABNT, 2007) item 13.2.4.2 como placa (laje) no regime elástico, desde que certas condições sejam obedecidas.

- **Laje nervurada com vigotas treliçadas pré-moldadas de concreto armado e blocos de EPS**

Lajes pré-fabricadas são todas aquelas cujas partes constituintes são fabricadas em larga escala por indústrias. As mais usadas são as lajes com vigotas treliçadas e as com vigotas de concreto armado. Podem ainda ser classificadas como unidirecionais (nervuras principais em uma única direção), bidirecionais (nervuras em duas direções).

Estão disponíveis no mercado brasileiro três tipos de vigotas, sendo eles: vigotas de concreto armado comum, não protendido ou vigotas de concreto protendido, ambas com seção transversal com a forma aproximada de um T invertido e com armadura

totalmente envolvida pelo concreto; e vigotas treliçadas, formadas por uma armadura treliçada de aço e por uma placa de concreto envolvendo as barras inferiores da treliça que irão compor a armadura da face tracionada da laje. A Figura 2 traz um esquema dos três tipos de lajes nervuradas citados.

No Brasil a norma com recomendações e especificações técnicas que regulamentam a execução de lajes com utilização de elementos pré-moldados é a NBR 14860 (ABNT, 2002). Segundo o item 5.1.1 desta norma, o cálculo e o dimensionamento das lajes devem ser feitos de acordo com as normas NBR 6118 (ABNT, 2007) e NBR 9062 (ABNT, 2001), com especial atenção à verificação de flechas, levando-se em conta os efeitos de deformação lenta e outros efeitos dependentes do tempo. O dimensionamento à flexão, segundo Souza e Cunha (1994), é semelhante ao das lajes maciças de concreto, porém existe a necessidade de que a linha neutra fique posicionada na altura do capeamento de concreto.

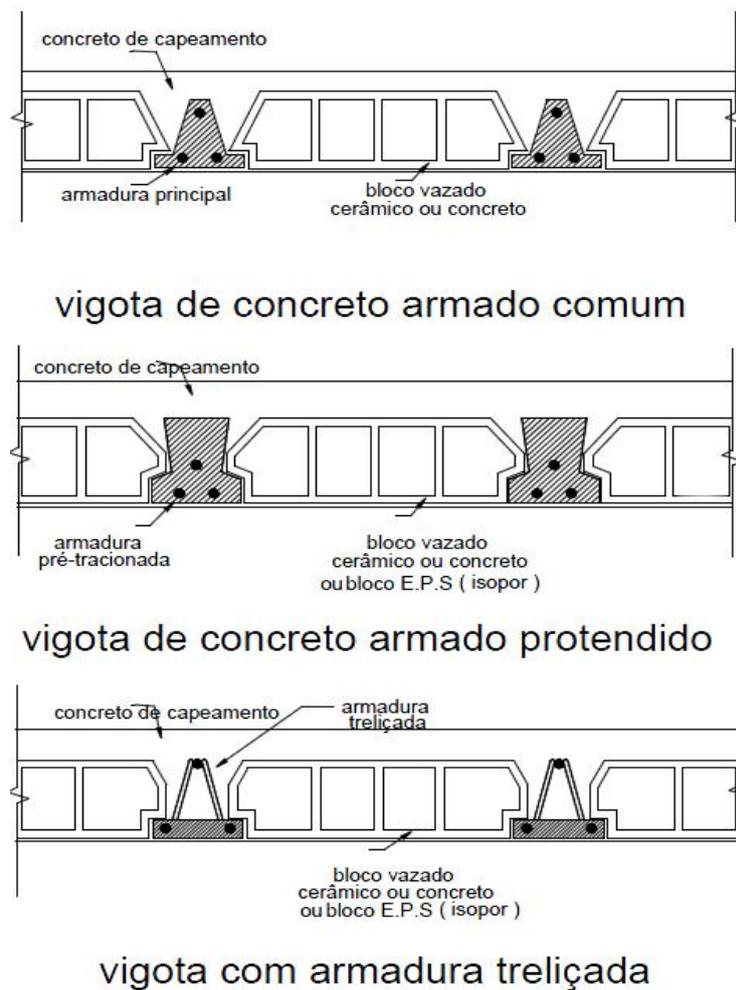


Figura 2 - Vigotas pré-moldadas disponíveis no mercado brasileiro
Fonte: DROPPA JÚNIOR, 1999

Metodologia

Para a elaboração desse estudo foi utilizada a planta de arquitetura do Residencial Genebra, empreendimento da Construtora e Incorporadora Construinvest em parceria com a TECNIFF – Tecnologia Engenharia e Comercio, localizado na cidade de Anápolis.

O projeto de arquitetura, elaborado no AutoCAD, serviu de entrada de dados no CypeCAD, programa para cálculo estrutural de edifícios, desenvolvido por uma empresa espanhola, de engenharia, que criou suas próprias ferramentas computacionais para auxílio nos projetos (Menezes et al., 2007).

Menezes et al (2007) aponta que o programa adota as normas da ABNT no que se refere aos cálculos de armaduras e deformações, mas não é específico em relação aos arranjos de armaduras dentro das peças, que variam de acordo com os costumes regionais ou mesmo dos projetistas. De tal modo, vários parâmetros devem ser definidos para o cálculo correto da estrutura e, principalmente os desenhos, ao padrão desejado.

O lançamento das lajes para análise pelo software é feito por meio de interfaces de fácil acesso que permitem a seleção do tipo de laje e a direção de armação, fatores necessários para que o programa possa executar o dimensionamento adequadamente. Para cada tipo de laje, foram adotados os seguintes procedimentos:

1. Lajes maciças: No item Introduzir laje, seleciona-se Lajes maciças, e a direção da armadura. No campo altura digita-se a altura desejada da laje em função do vão e do tipo de carregamento sobre a estrutura.
2. Lajes nervuradas com cubas plásticas: Para esse segundo tipo de laje o procedimento inicial é semelhante, porém no item Introduzir laje, seleciona-se Lajes nervuradas. Neste caso a laje é do tipo de molde Recuperável. Assim, seleciona-se o tipo de acordo com os tamanhos do molde e do vão da estrutura.
3. Lajes nervuradas com vigotas treliçadas pré-moldadas de concreto armado e blocos de EPS: Neste tipo de laje, no item Introduzir laje, seleciona-se Lajes de vigotas, sendo no caso selecionadas Lajes de vigotas armadas. Na opção lajes, cria-se uma nova laje com as medidas da vigota e do bloco de enchimento a serem utilizados. No caso dessa laje o bloco é de EPS (poliestireno).

Feitos esses procedimentos, o programa gera as peças e realiza as análises. Foram adotados nos dimensionamentos os seguintes critérios de projeto:

1. Da localização:

- Velocidade inicial do vento para a cidade de Anápolis é de 32 m/s com base no mapa das isopletas da NBR 6123 (ABNT, 1988);

- Classe de agressividade ambiental I (fraca, por ser localizado em área de clima seco, conforme NBR 6118, da ABNT 2007), para a qual adota-se um cobrimento mínimo de 2 cm para lajes e 2,5 cm para vigas e pilares;

2. Dos materiais estruturais adotados no estudo:

- Concreto tradicional C30 para pilares e C25 para lajes e vigas;

- Para as armaduras foi usado aço CA50 e CA60;

3. Das ações atuantes:

- Carga acidental (q) = 2,0 kN/m² em todas as lajes;

- Sobrecarga permanente = 0,8 kN/m² (referente à cerâmica e ao contrapiso);

- Carga linear nas vigas = 5,46 kN/m (referente às paredes, com altura de 2,8 m, largura de 0,15 m e peso específico da alvenaria de 13 kN/m³);

- Carga superficial nas lajes com paredes = 1,64 kN/m²;

Devido às limitações do software, que não calcula estruturas arrojadas, para que o programa gerasse as análises e apresentasse os resultados, foram solicitadas algumas modificações do projeto inicial para aumentar a rigidez da estrutura.

Na laje maciça foi necessário aumentar as seções dos pilares, podendo ser citado o exemplo do P1, que passou de 20 x 80 cm para 40 x 90 cm de forma que a estrutura do edifício atingisse a estabilidade global. As lajes usadas no projeto original, calculado com o TQS, foram de 7 cm ou 10 cm (o último caso apenas para lajes com vãos maiores que 6,60 m e para as lajes em balanço da varanda da suíte máster), mas nesta análise foram alteradas para espessuras de 12 cm e 13 cm. Já as medidas das vigas foram mantidas. A Figura 3 ilustra a planta baixa do pavimento tipo lançada no software, obtida através de adaptações feitas na planta original.

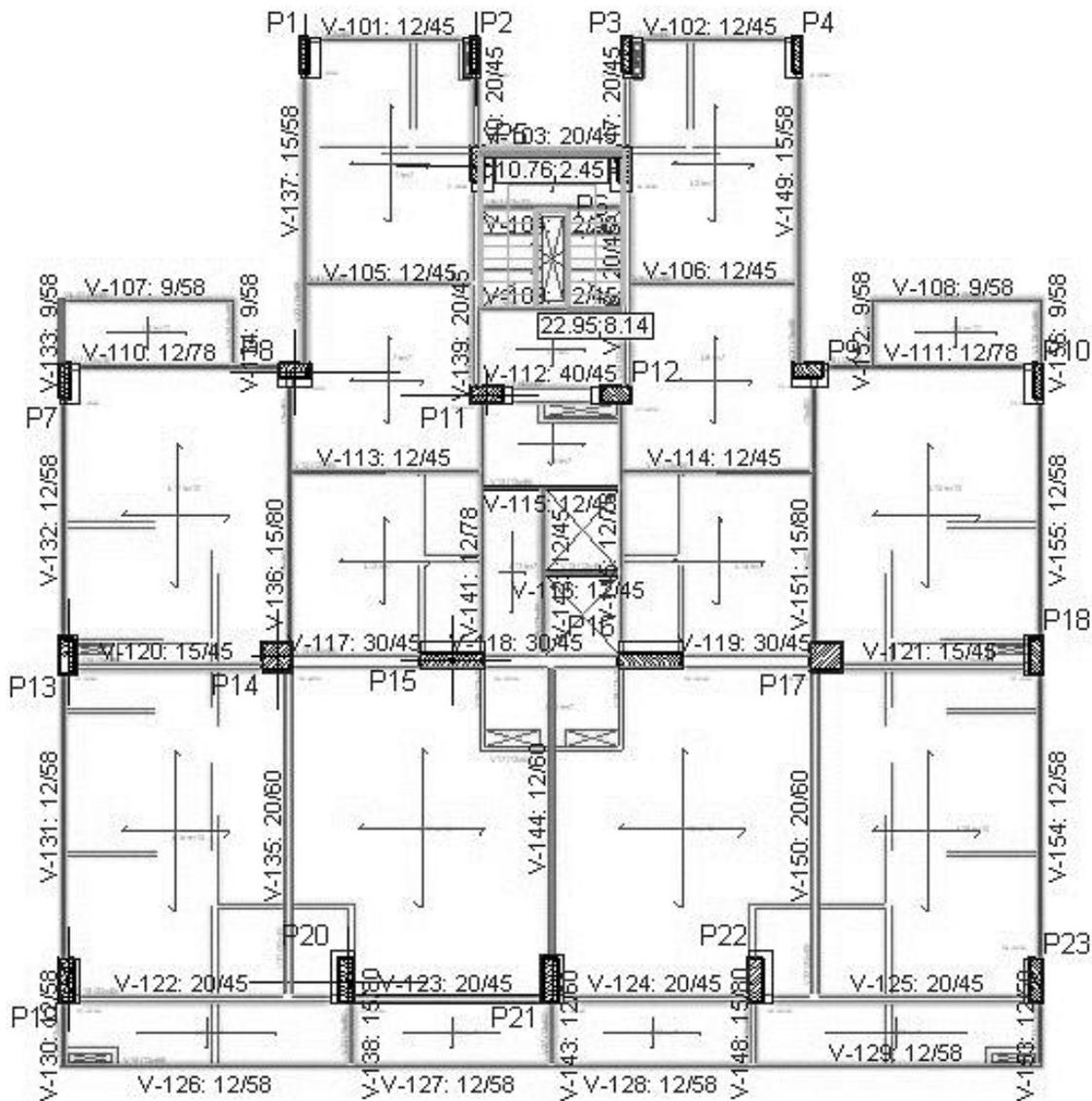


Figura 3 – Lançamento da laje maciça.
Fonte: Autores, 2017

Para a laje nervurada com cuba plástica, as modificações de pilares foram as mesmas da laje maciça e as vigas também foram mantidas conforme o projeto original. A Figura 4 ilustra o lançamento dessa laje no software.

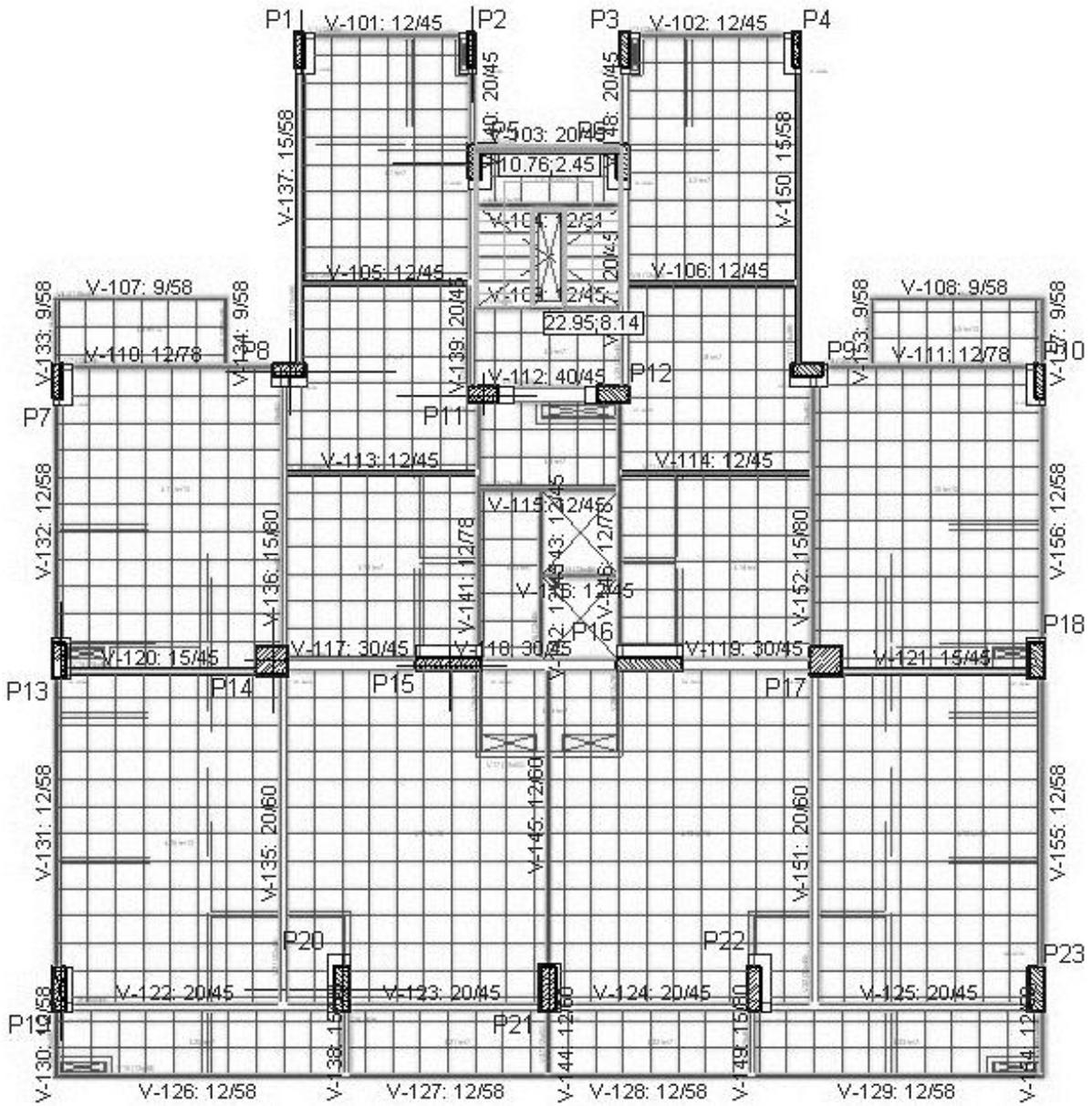


Figura 4 – Laje nervurada com cuba plástica.
Fonte: Autores, 2017

Já para o lançamento da laje nervurada com vigota treliçada foram necessárias mais modificações, como aumentar as seções dos pilares e das vigas para que a estrutura atingisse rigidez global suficiente para dar estabilidade à edificação. A laje deste último caso pode ser visualizada na Figura 5.

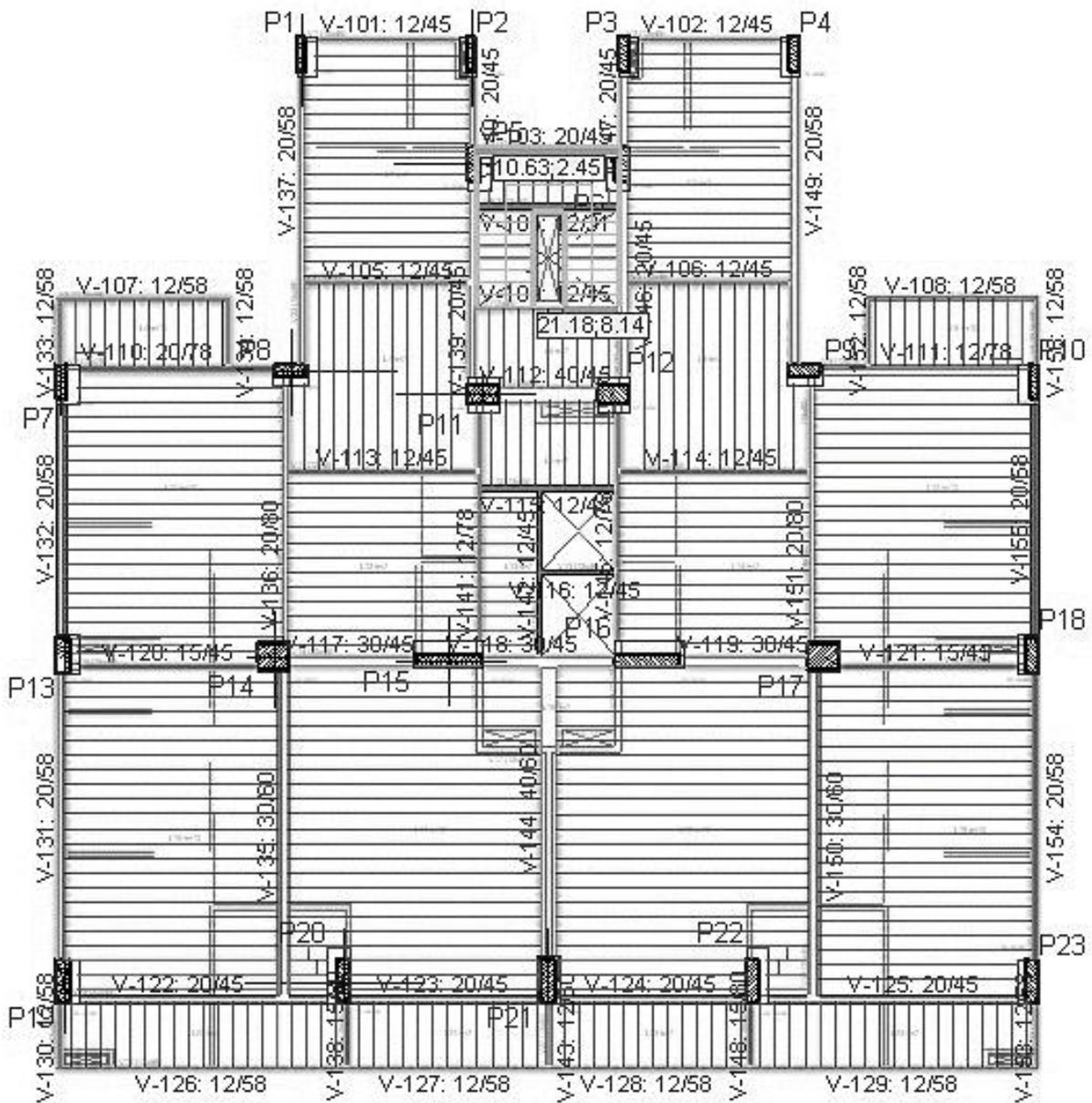


Figura 5 – Laje nervurada com vigota treliçada com EPS.
Fonte: Autores, 2017

Resultados

Depois de aplicar os dados no programa e executá-lo, são fornecidos que detalham o quantitativo de aço, concreto e de formas a serem utilizados na implantação do projeto. Estes dados foram obtidos para os pilares, para as vigas e para as lajes, servindo de base para a elaboração das tabelas 1 a 8, que trazem os índices estabelecidos para comparação de consumo destes itens para cada tipo de laje utilizado. As tabelas 1 a 3 exemplificam a apresentação dos dados fornecidos pelo *software*, sendo no caso, os quantitativos obtidos para as lajes.

Tabela 1 – Consumo de aço, concreto e formas nas lajes do edifício com laje maciça

EDIFÍCIO COM LAJE MACIÇA – LAJE			
PAV.	AMADURA (Kg)	VOL. CONCRETO (m ³)	FORMA (m ²)
1	3013,00	45,28	380,50
2	3089,00	45,28	380,60
3	2968,00	45,28	380,60
4	2767,00	45,28	380,60
5	2724,00	45,28	380,60
6	2680,00	45,28	380,60
7	2648,00	45,28	380,60
8	2615,00	45,28	380,60
9	2576,00	45,28	380,60
10	2530,00	45,28	380,60
11	2496,00	45,28	380,60
12	2456,00	45,28	380,60
13	2432,00	45,28	380,60
14	2346,00	45,28	380,60
Total	37340,00	633,92	5328,30

Fonte: Autores, 2017

Tabela 2 – Consumo de aço, concreto e formas nas lajes do edifício com laje nervurada

EDIFÍCIO COM LAJE NERVURADA – LAJE			
PAV.	AMADURA (Kg)	VOL. CONCRETO (m ³)	FORMA (m ²)
1	3590,00	47,22	380,60
2	3607,00	47,22	380,60
3	3564,00	47,22	380,60
4	3450,00	47,22	380,60
5	3441,00	47,22	380,60
6	3420,00	47,22	380,60
7	3415,00	47,22	380,60
8	3399,00	47,22	380,60
9	3384,00	47,22	380,60
10	3374,00	47,22	380,60
11	3369,00	47,22	380,60
12	3333,00	47,22	380,60
13	3321,00	47,22	380,60
14	3301,00	47,22	380,60
Total	47968,00	661,08	5328,40

Fonte: Autores, 2017.

Tabela 3 – Consumo de aço, concreto e formas nas lajes do edifício com laje com vigota

EDIFÍCIO COM LAJE DE VIGOTA E EPS – LAJE			
PAV.	AMADURA (Kg)	VOL. CONCRETO (m ³)	FÔRMA (m ²)
1	1208,00	32,86	372,51
2	1217,00	32,86	372,51
3	1212,00	32,86	372,51
4	1213,00	32,86	372,51
5	1210,00	32,86	372,51
6	1205,00	32,86	372,51
7	1200,00	32,86	372,51
8	1195,00	32,86	372,51
9	1202,00	32,86	372,51
10	1188,00	32,86	372,51
11	1171,00	32,86	372,51
12	1148,00	32,86	372,51
13	1145,00	32,86	372,51
14	1154,00	32,86	372,51
Total	16668,00	460,04	5215,14

Fonte: Autores, 2017

Tabela 4 – Índice de consumo de aço e concreto dos pilares

ÍNDICES DE CONSUMO - PILARES		
Laje	kg/m ³	m ³ /m ²
Maciça	53,17	0,16
Nervurada cubas plásticas	50,75	0,16
Nervurada com vigotas	52,36	0,17

Fonte: Autores, 2017

Tabela 5 – Índice de consumo de aço e concreto das vigas

ÍNDICES DE CONSUMO - VIGAS		
Laje	kg/m ³	m ³ /m ²
Maciça	90,95	0,07
Nervurada cubas plásticas	76,38	0,07
Nervurada com vigotas	54,43	0,09

Fonte: Autores, 2017

Tabela 6 – Índice de consumo de aço e concreto das lajes

ÍNDICES DE CONSUMO – VIGAS		
Laje	kg/m ³	m ³ /m ²
Maciça	58,90	0,12
Nervurada cubas plásticas	72,56	0,12
Nervurada com vigotas	36,23	0,09

Fonte: Autores, 2017

Tabela 7 – Cargas na fundação do edifício

CARGA NA FUNDAÇÃO POR TIPO DE LAJE						
PILAR	CARGA PERMANENTE AXIAL (KN)			SOBRECARGA AXIAL (KN)		
	Maciça	Nervurada com cubas	Nervurada com vigotas	Maciça	Nervurada com cubas	Nervurada com vigotas
P1	1470,21	1460,50	1497,25	195,82	195,41	200,73
P2	1019,96	1032,02	943,12	119,02	142,17	100,84
P3	1027,91	1034,47	952,39	121,57	142,86	104,50
P4	1467,41	1466,37	1505,66	194,21	197,01	205,16
P5	2529,39	2441,26	2389,59	397,84	280,98	380,38
P6	2536,75	2446,12	2401,68	400,10	282,17	382,84
P7	2225,30	2264,14	2523,00	354,28	266,29	360,74
P8	3293,18	3181,08	3275,14	632,71	302,71	559,01
P9	3307,15	3198,97	3290,28	633,20	306,72	580,02
P10	2232,09	2263,64	2509,26	354,70	263,68	373,50
P11	2732,36	2853,63	2894,42	541,52	4060,81	496,93
P12	2735,67	2864,08	2862,74	541,72	360,87	484,05
P13	2480,49	2454,65	2742,89	441,73	248,42	428,35
P14	4238,59	4696,34	4733,29	898,35	352,19	972,46
P15	4590,38	4504,86	4271,81	804,81	589,18	661,41
P16	4374,55	4504,86	4076,57	736,23	789,18	581,10
P17	4224,47	3172,73	4749,36	890,41	379,96	967,95
P18	2498,03	2464,72	2759,55	547,33	350,10	432,71
P19	2902,05	2897,57	3009,49	464,51	464,57	450,97
P20	4640,99	4823,53	4500,65	821,12	480,09	753,36
P21	4078,78	3856,09	4903,74	794,06	542,46	987,89
P22	4627,22	4823,95	4483,12	816,69	880,60	741,78
P23	2913,74	2903,76	2955,12	468,14	276,01	430,21

Fonte: Autores. 2017

Tabela 8 – Carga totais na fundação do edifício

CARGA TOTAL NA FUNDAÇÃO DO EDIFÍCIO		
LAJE	CARGA PERMANENTE AXIAL (KN)	SOBRECARGA AXIAL (KN)
Maciça	68146,67	12170,07
Nervurada cubas plásticas	67609,34	12154,44
Nervurada com vigotas	70230,12	11636,89

Fonte: Autores, 2017

Análise dos resultados

Quanto ao comportamento da estrutura, durante o lançamento dos projetos no software, pode-se notar que as lajes maciça e nervurada com cubas plásticas dão maior rigidez à estrutura, tendo em vista que os edifícios atingiram a estabilidade com pilares e vigas mais esbeltas. O uso de lajes nervuradas com vigotas e EPS tornou necessário um aumento significativo da seção dos pilares e vigas para que a estabilidade global viesse a ser alcançada, desfavorecendo a viabilidade desta solução do ponto de vista arquitetônico já que a seção dos pilares ocupou parte dos ambientes, aumentando o tamanho dos quadros e diminuindo a área útil.

Os consumos de aço e concreto foram agrupados nas Tabelas 9 e 10 para facilitar a análise das Tabelas 4, 5 e 6 acima. Tais consumos tiveram seus dados ilustrados também nos gráficos das figuras 6 e 7.

Tabela 9 – Tabela resumo do índice de consumo em kg/m³.

ÍNDICES DE CONSUMO EM kg/m ³				
	Pilar	Viga	Laje	Total
Maciça	53,17	90,95	58,90	203,03
Nervurada com cubas plásticas	50,75	76,38	72,56	199,68
Nervurada com vigotas	52,36	54,43	36,23	143,02

Fonte: Autores, 2017

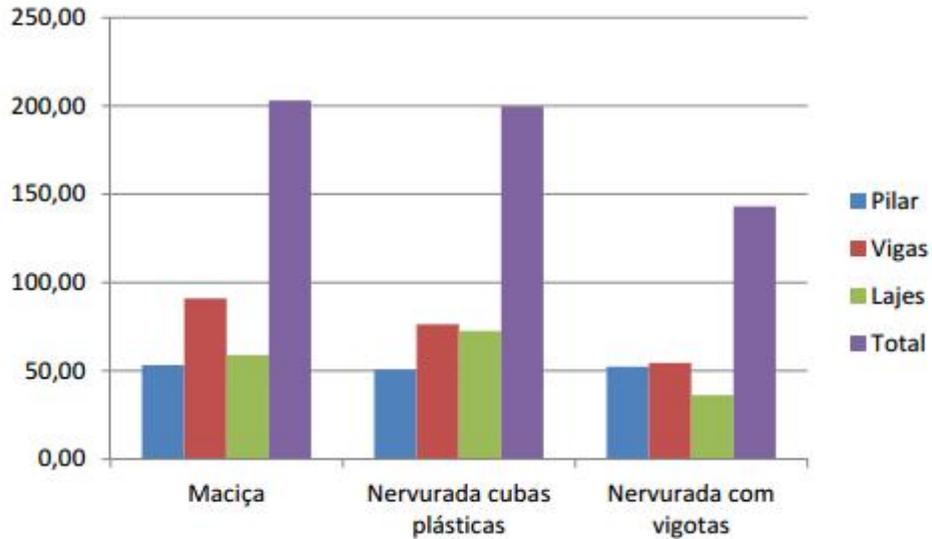


Figura 6 – Gráfico com o índice de consumo em kg/m³.
Fonte: Autores, 2017

Tabela 10 – Tabela resumo do índice de consumo em m³/m²

ÍNDICES DE CONSUMO EM m³/m²				
	Pilar	Viga	Laje	Total
Maciça	0,16	0,07	0,12	0,35
Nervurada com cubas	0,16	0,07	0,12	0,35
Nervurada com	0,17	0,09	0,09	0,35

Fonte: Autores, 2017

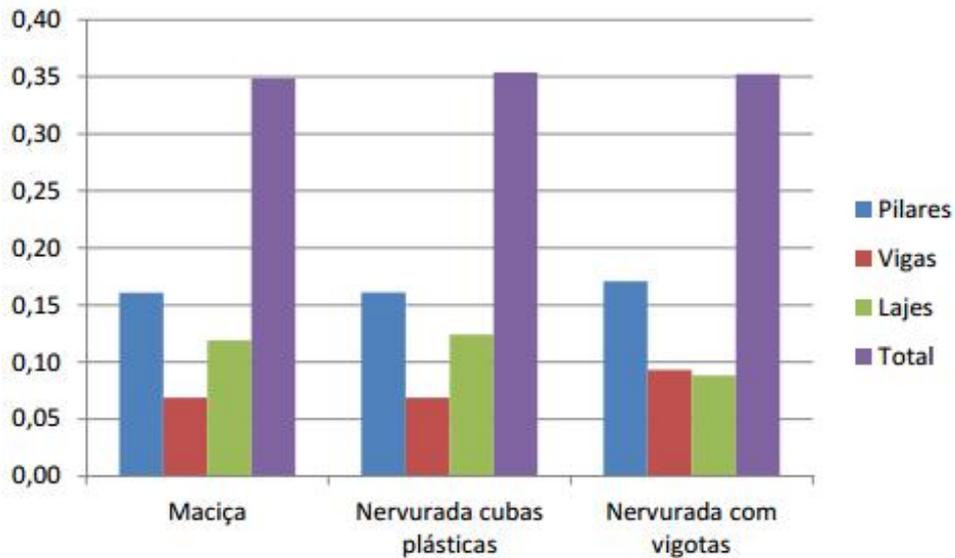


Figura 7 – Gráfico com o índice de consumo em m³/m².
Fonte: Autores, 2017

Como as lajes maciça e nervurada com cubas plásticas mantiveram a mesma seção de pilares, o índice nos dois casos é o mesmo, sendo maior na terceira laje devido

ao aumento da seção. Este mesmo efeito pode ser notado nas vigas, enquanto nas lajes a variação também é pequena pois nos casos em que o volume de concreto é maior, a área de forma também é maior, equilibrando os índices.

No total, com qualquer um dos três tipos de lajes estudados obteve-se o mesmo índice de consumo, que considera o volume de concreto em m³ pela área de fôrmas em m².

O gráfico da Figura 8, elaborado usando os valores totais da Tabela 8 acima, ilustra os totais de cargas na fundação, que são bastante próximos. No caso da carga permanente, a maior carga foi apresentada no edifício de laje nervurada com vigota, já que devido aos aumentos de seções das peças estruturais o edifício se tornou mais pesado.

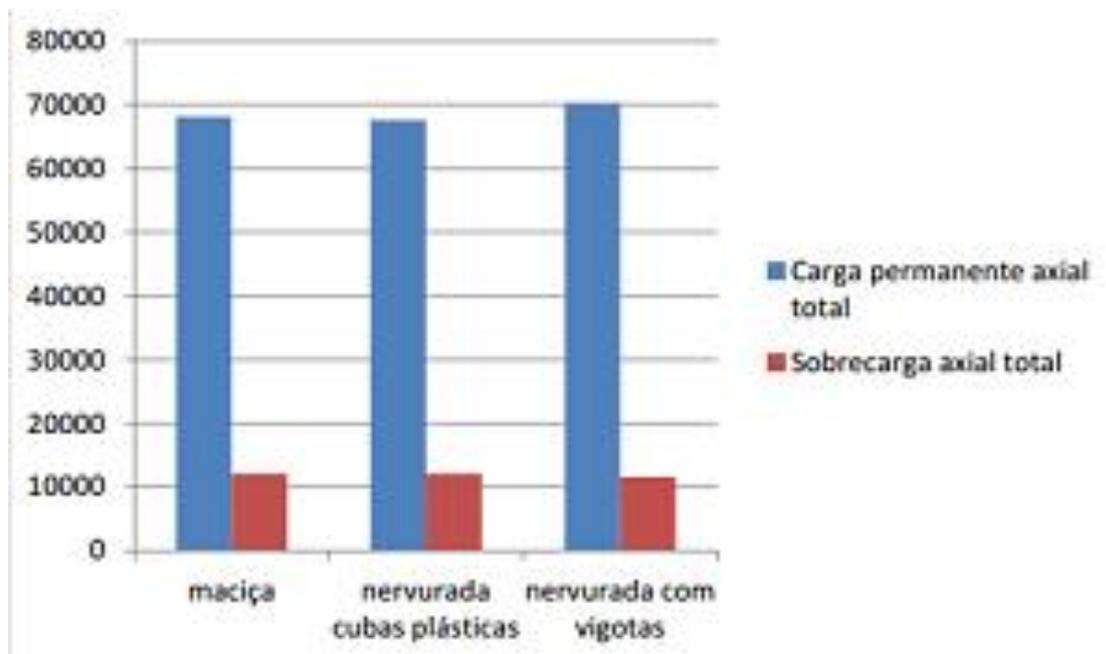


Figura 8 – Carga na fundação.

Fonte: Autores, 2017

Por outro lado, na sobrecarga axial, essa foi a laje que ofereceu menores valores, proporcionando valores ainda mais próximos no total das cargas na fundação.

A carga total na fundação da laje maciça é 80316,74 kN, na laje nervurada com cubas plásticas é 79763,78 kN e na laje com vigotas é 81867,01 kN. No entanto a laje com cubas plásticas continua sendo a que produziu menos carga na fundação, seguida pela laje maciça e a maior carga total também foi encontrada na laje com vigotas.

No que diz respeito aos custos da edificação, os valores encontrados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Custo da edificação

CUSTO DA EDIFICAÇÃO					
Tipo de laje	Moeda	Aço	Concreto	Fôrma	Total
Edifício com laje maciça	Real	318.017,02	466.119,92	383.363,60	1.167.500,54
Edifício com laje com cubas plásticas	Real	341.409,01	475.288,05	224.511,01	1.041.208,1
Edifício com laje de vigotas	Real	247.115,43	470.270,98	251.844,08	969.230,5

Fonte: Autores, 2017

Para a elaboração dessa Tabela, foram usados os valores da tabela da AGETOP de 2012 e pesquisa no mercado local. Foram considerados apenas os custos com aço, concreto e fôrmas. Mão de obra e outros encargos não foram levados em conta. A Tabela 12 apresenta os valores de cada material usado.

Tabela 12 – Custo de cada tipo de material usado nos edifícios.

Item	Preço (BRL)	
Aço CA - 60 - 5,0 mm	2,96	R\$/kg
Aço CA - 50 - 6,3 mm	3,52	R\$/kg
Aço CA - 50 - 8,0 mm	3,51	R\$/kg
Aço CA - 50 - 10,0 mm	3,32	R\$/kg
Aço CA - 50 - 12,5 mm	3,23	R\$/kg
Aço CA - 50 - 16,0 mm	3,12	R\$/kg
Aço CA - 50 - 20,0 mm	3,12	R\$/kg
Aço CA - 50 - 25,0 mm	3,10	R\$/kg
Concreto usinado bombeável FCK = 25	295,80	R\$/m ³
Concreto usinado bombeável FCK = 30	306,00	R\$/m ³
Compensado plastificado 20 uso 2,44mx1,22mx18mm	72,60	R\$/un.
Cubas plásticas	6,54	R\$/un.
EPS h = 20 cm	16,64	R\$/m
Vigota LT25 (20+5)	21,00	R\$/m

Fonte: Autores, 2017

A Figura 9 ilustra a Tabela 12 e, como se pode observar, considerando os custos com aço, concreto e fôrma, o edifício com laje nervurada com vigotas e EPS apresenta o menor custo.

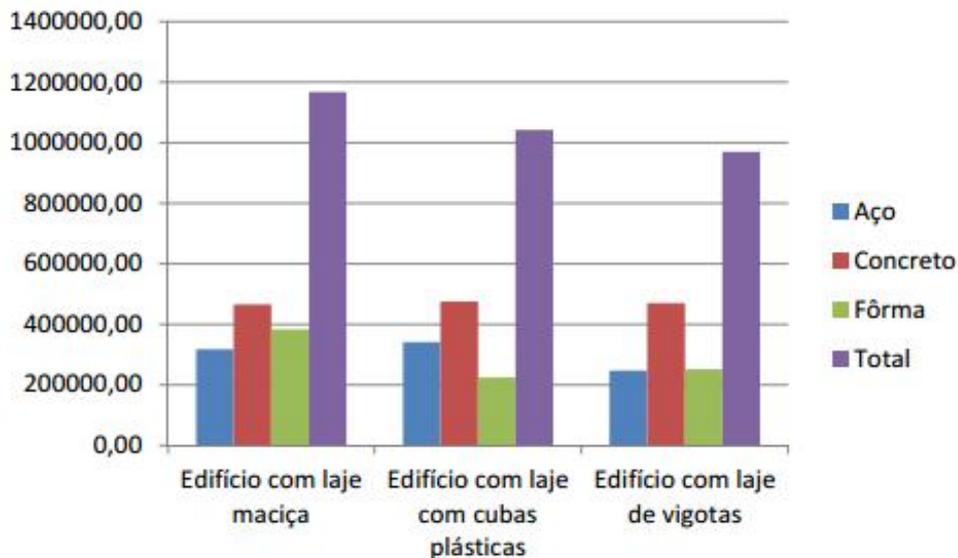


Figura 9 – Custos da edificação em Reais.

Fonte: Autores, 2017

Apesar de o edifício com vigotas e EPS apresentar pilares e vigas com seções maiores, a leveza da laje exigiu uma menor quantidade de aço na edificação em relação às outras lajes, tornando essa a opção mais econômica em aço. Já nos custos com o concreto, o aumento das seções no caso da laje com vigotas fez com que o custo desse edifício se equiparasse ao dos edifícios com outros tipos de lajes.

O fator das formas foi o grande diferenciador nos custos das três edificações. Para a laje maciça, foram consideradas fôrmas de compensado plastificado, enquanto para a laje nervurada, as fôrmas são as próprias cubas plásticas. A laje com vigotas e EPS elimina o uso de fôrmas, porém foi considerado nesse item os custos com EPS. Já nos pilares e vigas dos três edifícios foi considerada a fôrma de compensado plastificado.

Tendo como base o edifício com laje com vigotas e EPS, que apresentou o menor custo, observa-se que o edifício com laje maciça tem custo 20,46% maior. A laje com cubas plásticas, por sua vez, tem um custo 7,43% maior.

Conclusões

A utilização de lajes nervuradas, seja com cubas plásticas ou com vigotas, é uma opção que possibilita a execução de edifícios com lajes de alturas maiores do que as obtidas com o uso de lajes maciças sem aumentar o consumo de concreto. Isso se deve à utilização de materiais de enchimento, de forma a eliminar o concreto abaixo da linha

neutra.

Ao lançar o edifício no software, cada tipo de laje precisou de uma altura diferente para que o edifício atendesse os critérios de projetos.

Em relação ao comportamento da estrutura, a laje maciça e a nervurada com cubas plásticas se apresentaram como melhores escolhas para o edifício em questão, já que com elas o edifício chegou à rigidez com peças estruturais mais esbeltas, aumentando a área útil dos apartamentos e tornando o projeto mais interessante do ponto de vista comercial.

No que diz respeito ao consumo, a laje nervurada com vigotas caracteriza uma melhor escolha, já que apresentou menor índice de consumo total em kg/m^3 . O índice de consumo total em m^3/m^2 foi o mesmo para os três tipos de lajes, não influenciando na escolha. O fator da carga na fundação é mais um ponto a favor da laje nervurada com cubas plásticas, sendo essa a opção que apresentou menor carga na fundação.

No quesito relativo aos custos, a laje com vigotas pode ser considerada como melhor escolha já que, apesar de aumentar as seções das peças estruturais, ao considerar toda a estrutura o edifício com laje nervurada com vigotas se mostrou mais econômico.

Ressalta-se, porém, que a escolha final da laje depende ainda de outros pontos a serem analisados, que não fizeram parte desse estudo, como conforto acústico e térmico. Sendo assim, a seleção da laje depende dos critérios que forem priorizados como arquitetura, fundação e custos, entre outros. Observa-se que cada tipo laje tem suas vantagens, podendo ser citada como exemplo a laje com cubas plásticas, que pode vir a ser uma escolha melhor em edifícios com vãos maiores, de forma a se utilizar menos vigas e pilares. Como cada critério analisado aponta uma laje como melhor escolha em função de suas características e vantagens, conclui-se que projetistas e construtores devem entrar em consenso a respeito de qual desses critérios deve ser priorizado em cada obra e assim escolher a laje que melhor atender.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**, NBR 8681, Rio de Janeiro, ABNT, 2003, 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Forças devidas ao vento em edificações**, NBR 6123, Rio de Janeiro, ABNT, 1988, 66p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Laje pré-fabricada – Pré-laje – Requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais**, NBR 14860-1, Rio de Janeiro,

ABNT, 2002, 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, NBR 6118. Rio de Janeiro, ABNT, 2007, 221p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**, NBR 9062, Rio de Janeiro, ABNT, 2001, 37p.

AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS. Tabela 93 – **Custos de obras civis**. Goiânia, 2012, 29p.

245

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO – ABRAPEX. **Manual de utilização EPS na Construção Civil**, São Paulo: Pini, 2006.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: Segundo a NBR 6118: 2003**. Edição segunda. São Carlos: EdUFSCar, 2004. 374p.

CHAER, A, V. **Notas de aula da disciplina Estruturas de Concreto Armado I** Goiânia: Pontifícia Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia, 2008.

DE MENEZES, A. M. et al. **Comunicação gráfica entre profissionais parceiros no projeto de edifícios, na era digital**. 2007.

DROPPA JÚNIOR, A. **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

SOUZA, V.C.M.; CUNHA, A.J.P. **Lajes em Concreto Armado e Protendido**. Niterói, Ed. da Universidade Federal Fluminense, 1994.