

ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES CONVENCIONAIS E LAJES LISAS

Rafael Barreto Castelo da Cru. E-mail: castelocruz@uol.com.br

Tássia Tie Maeshiro.

Tamires Akemi Kojima.

Paloma Soares Alonso.

Fabiana S. Macedo.

Hugo M. Estabile

Resumo: A escolha do sistema estrutural envolve diversos fatores e apresenta uma grande variedade de métodos construtivos. Nesse diapasão a demanda de insumos de construção varia de acordo com o modelo estrutural adotado, com isso é relevante estabelecer a variabilidade deste consumo em função de cada modelo. O objetivo deste trabalho é apresentar analisar o consumo de concreto, aço e formas em estruturas de concreto armado do tipo convencional e laje lisa com apoio de sistemas informatizados. A metodologia sedimentada com estudo de caso, cujo objeto é um edifício residencial de 8 pavimentos analisado segundo a NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento, com o apoio do software CAD/TQS®. Os resultados serão representados em uma análise comparativa gráfica relacionando a variação dos insumos.

Palavras-chave: Estruturas de concreto armado; Edifícios residenciais; Estruturas convencionais; Lajes lisas; Insumos.

COMPARATIVE ANALYSIS OF STRUCTURAL SYSTEMS OF CONVENTIONAL SLAB AND SMOOTH SLAB

Abstract: The choice of the structural system of a building involves many factors and presents a wide range of constructive methods. In this vein, the demand for constructions materials resources varies according to the structural model adopted, it is important to establish the variability of this consumption according to each model. The aim of this paper is to presente a view to an analysis of the consumption of raw materials (concrete, steel and wood molds) of reinforced concrete structures of the conventional type and smooth slab with support systems computerized.. The sedimented methodology will be validated with a case study whose object is a residential building of 8 floors analyzed according to NBR 6118: 2014 with the support of CAD / TQS® software. The results will be represented in a graphical comparative analysis relating the variation of construction material resources.

Keywords: Reinforced concrete structures; Residential buildings; Conventional structures; Flat slabs; Constructions materials resources.

1. INTRODUÇÃO

Antigamente, o processo de cálculo era lento o que tornava inviável calcular um edifício diversas vezes. Hoje em dia, com o auxílio de sistemas informatizados, é possível fazer diversas simulações de um mesmo projeto, resultando numa estrutura mais eficiente e otimizada. Todas as etapas de um projeto, desde a concepção estrutural, análise estrutural,

dimensionamento e detalhamento dos elementos, são amplamente influenciadas pelo uso de um software (KIMURA,2007).

Esse avanço da tecnologia e a competitividade do mercado em diversas áreas, inclusive na construção civil, faz com que os profissionais busquem cada vez mais a otimização de processos e, conseqüente, redução do custo. Dessa forma, os projetistas estruturais de concreto armado, devem acompanhar a constante evolução dos processos construtivos.

Conforme (SPOHR, 2008), enquanto as estruturas eram construídas com vãos relativamente pequenos e sujeitas apenas a cargas distribuídas, o emprego de lajes maciças convencional não acarretava maiores problemas, todavia, à medida que os vãos aumentaram, a utilização desse sistema tornou-se antieconômica, segundo (NERVO, 2012).

Diante dessa e de outras necessidades surgiram novas soluções estruturais, como por exemplo, as lajes lisas, ou cogumelo, que melhoram as condições de execução, utilização, qualidade e durabilidade de um edifício, conceitua (CARVALHO e PINHEIRO, 2009).

Nos sistemas convencionais, as lajes apoiam-se em vigas e estas nos pilares, a proposição de sistemas de lajes lisas consolida-se nos sistemas de lajes sem vigas, de modo que as lajes se apoiem diretamente sobre os pilares conceitua (CARVALHO e PINHEIRO, 2009). No caso de lajes sem vigas, os pilares podem ou não ter engrossamento de sua seção transversal nas proximidades de ligação com a laje. Esse engrossamento é definido por (HENNRICHS,2003)como capitel, cuja finalidade principal é reduzir as tensões de cisalhamento, evitando o puncionamento da laje.

A solução de lajes lisas, pelo fato desse método não necessitar de vigas, pode apresentar uma economia de fôrmas e redução do tempo de execução, e ainda, quando prevista estruturalmente, sugere flexibilidade no interior dos pavimentos por apresentarem tetos lisos e ampla liberdade nos espaços internos.

Segundo (CRUZ, 2013), ainda que a engenharia e a computação venham desenvolvendo softwares bastante avançados que contemplem diversos tipos de sistemas estruturais e sejam capazes de calcular, dimensionar e detalhar edifícios com grande rapidez e eficiência, quem define o sistema estrutural a ser adotado é o projetista.

Diante dessas constatações, torna-se indispensável conhecer os métodos construtivos existentes no mercado e suas aplicações, visto que uma deficiência de critérios leva a hesitação de alguns profissionais quanto ao emprego do sistema estrutural ideal. Dessa forma, nos cabe refletir se as possíveis economias e diminuição do consumo de insumos são de fato sensíveis e eficientes para essas diferentes soluções estruturais.

Para tanto, o presente trabalho apresenta uma análise comparativa entre dois sistemas estruturais usuais com o intuito de apresentar os quantitativos de insumos (concreto, aço e fôrmas de madeira), considerando as singularidades que cada um pode oferecer para um edifício residencial de 8 pavimentos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto de arquitetura simulará um estudo de caso teórico de tal forma que permita a discretização estrutural do edifício nos sistemas convencionais e de lajes lisas. Com isso, o objetivo deste estudo exploratório consiste na elaboração de um projeto arquitetônico residencial multifamiliar de baixo padrão, na qual a concepção arquitetônica foi desenvolvida pelos próprios autores.

O pavimento tipo está indicado na figura 1 e é composto por hall de circulação, elevador, escada e quatro apartamentos por andar, com dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha, área de serviço e sacada.

Para a perfeita percepção dos efeitos decorrentes do vento, fatores P-delta, gamaZ (Δz), núcleos de rigidez, este projeto será concebido em oito pavimentos com elevador e reservatórios. Serão considerados apartamentos no térreo e não serão objeto de estudo as garagens, áreas comuns e guaritas.

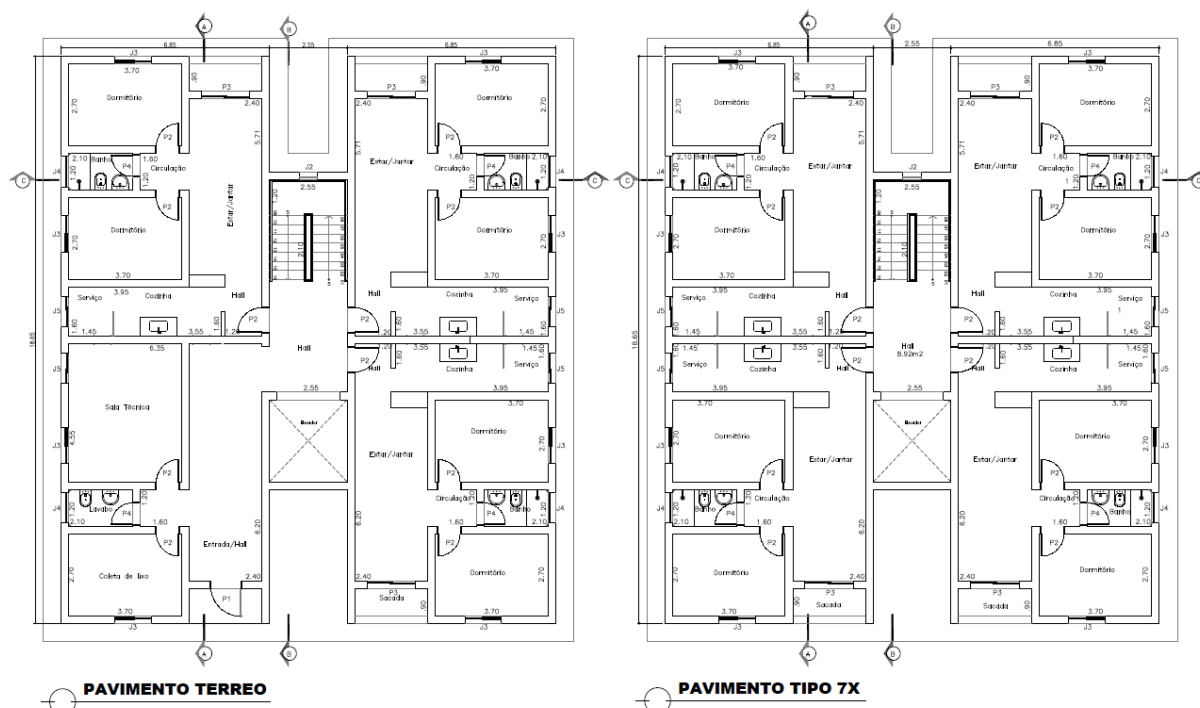


Figura 1. Planta Arquitetônica do Térreo e Pavimento Tipo do Estudo de Caso Modelo- Fonte: Os Autores (2016).

Para a inserção dos esforços decorrentes da norma de vento, classe de agressividade ambiental, o edifício simulado será considerado localizado na cidade de São Paulo

Portanto, diante de tais elementos o edifício supracitado é classificado como Residência multifamiliar - Padrão baixo (R8 – B) através da NBR 12721:2007 – Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento, conforme figura 2.

2.1 Premissas

A fundação, o pavimento térreo, a escada e a cobertura do elevador apresentam a mesma solução estrutural para os dois sistemas estudados, descartando, dessa forma, esses trechos da estrutura na comparação. Foram inseridas apenas as sobrecargas destes trechos no modelo estrutural para o correto dimensionamento dos elementos;

Todos os pilares têm sua seção contínua ao longo de todos os pavimentos, prevalecendo, dessa forma, o dimensionamento através da força atuante no 1º pavimento onde o carregamento é mais elevado.

Como a finalidade deste trabalho é a comparação dos quantitativos de insumos através do processamento dos pórticos, definiu-se que os parâmetros de estabilidade global dos pórticos devem ser analisados, a fim de garantir que as duas estruturas sejam similares quanto à rigidez. Para este estudo, o pé direito dos dois sistemas avaliados não sofreu alteração.



Figura 2. Fachada e Corte CC – Arquitetônica do Estudo de Caso Modelo- Fonte: Os Autores (2016).

A partir do projeto de arquitetura foram desenvolvidos os projetos estruturais dos dois sistemas estudados neste trabalho. Lastreado às normas técnicas relativas à capacidade resistente, durabilidade da estrutura e desempenho em serviço, os projetos foram desenvolvidos por etapas.

2.2 Modelo estrutural

Os edifícios foram modelados pelo sistema CAD/TQS® por um pórtico espacial, composto por elementos que simularam as vigas, pilares e lajes da estrutura. Os efeitos gerados pela aplicação das ações verticais e horizontais foram calculados com esse modelo, dessa forma, além das vigas e pilares, as lajes também resistem parte dos esforços gerados pelo vento, situação essa não flagrada nos outros modelos disponíveis.

Para este modelo estrutural foi considerada a utilização do modelo dos pavimentos composto por grelha de lajes planas, pois permite maior sensibilidade e refinando da grelha para análise de flechas e abertura de fissuras.

2.3 Estabilidade global

A estabilidade global dos modelos estruturais foi analisada através do coeficiente γ_{mZ} . Como a finalidade deste trabalho é a comparação dos quantitativos de insumos através do processamento dos pórticos, definiu-se que os parâmetros de estabilidade global dos pórticos devem ser analisados, a fim de garantir que as duas estruturas sejam similares quanto à rigidez.

Os critérios utilizados foram baseados pela NBR 6118:2014 e, fixando o valor máximo de γ_{mZ} em 1.2.

2.4 Materiais

Foi utilizado o concreto armado e a escolha da resistência à compressão foi determinada a partir da classe de agressividade ambiental. Para o edifício residencial de

estudo em zona urbana e com risco de deterioração da estrutura pequeno é possível considerar classe de agressividade II. Para esses casos tem-se que a classe de resistência mínima exigida para o concreto armado é a C25.

Foram utilizados os seguintes aços: Aço CA 60 de diâmetro 5 mm para a armadura de cisalhamento (estribos) de vigas e pilares e armadura longitudinal de lajes; Aço CA 50 de diâmetros 6,3; 8; 12,5; 16; 20 mm para o emprego de armaduras longitudinais de lajes, vigas e pilares;

Os Cobrimentos foram respeitados os valores estipulados pela NBR 6118:2014 que varia em função do elemento estrutural e da classe de agressividade ambiental. A figura 3 ilustra os cobrimentos considerados no sistema de cálculo, para a classe de agressividade II, parametrizados no CAD/TQS®.

	Inferior	Superior	Diferença secundária	
Lajes em geral	2.5	2.5	1	1
Lajes protendidas	3	3	1	
Vigas	3			
Pilares	3			
Fundações	3		1	

Figura 3. Parametrização de Cobrimentos para CAA II- Fonte: Adaptado do CAD/TQS (2016).

2.5 Ações

Para o carregamento da estrutura foram consideradas as seguintes ações de acordo com a NBR 6120/1980 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações: a.) Permanentes diretas: i.) Peso específico do concreto armado: 25 kN/m³; ii.) Peso específico da alvenaria: 18 kN/m³; e iv.) Revestimento: 19 kN/m³ x 0,5m = 9,5 kN/m² (adotado 10 kN/m²); b.) Variáveis diretas: i.) Dormitório, sala, cozinha e banheiro: 1,5 kN/m²; ii.) Area de serviço: 2 kN/m²; e iii.) Escadas: 2,5 kN/m²; e c.) O vento: foram configurados os parâmetros, com base ABNT NBR 6123/1988 Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento, conforme figura 4.

V0 - Velocidade básica	42
S1 - Fator do terreno	1.00
S2 - Categoria de rugosidade	V
S2 - Classe da edificação	B
S3 - Fator estatístico	1.00

	Ângulo	C.A.	Def Cot	Cot ini
1	90	1	Não	0
2	270	1	Não	0
3	0	1	Não	0
4	180	1	Não	0

Figura 4 - Parametrização de Esforços em Função do Vento - Fonte: Adaptado do CAD/TQS (2016).

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O presente propôs uma análise comparativa entre dois sistemas estruturais usuais com o intuito de apresentar os quantitativos de insumos (concreto, aço e fôrmas de madeira), considerando as singularidades que cada um pode oferecer para um edifício residencial de 8 pavimentos. Primeiro foi modelado todo o edifício em um sistema estrutural convencional, e em seguida modelado todo o edifício com sistema estrutural de lajes lisas, e por fim, após verificados os Estados Limites (Último e de Serviço), foram extraídos os insumos aplicados em cada um dos modelos.

3.1 Sistema Estrutural Convencional

Durante a elaboração de um projeto uma das etapas de enorme importância é a análise estrutural. Nesta etapa, calculam-se os efeitos das ações ou cargas sobre a estrutura, ou seja, calculam-se os esforços solicitantes, verificam-se os critérios de segurança e os deslocamentos por meio de um modelo que simulará a estrutura real.

Nos sistemas convencionais as lajes apoiam-se nas vigas e estas nos pilares, onde os carregamentos (ações permanentes, variáveis, etc.) são aplicados diretamente nas lajes, os quais são transferidos às vigas, que por sua vez descarregam seus esforços aos pilares e estes, finalmente às fundações, conceituam (CARVALHO e PINHEIRO, 2009).

Foi decidido vincular a estrutura a um núcleo rígido. Foi inserido um pilar parede de 299cm x 19cm, na caixa de elevador. A figura 5 mostra o sistema de pórtico tridimensional da estrutura convencional vinculada a um núcleo rígido.

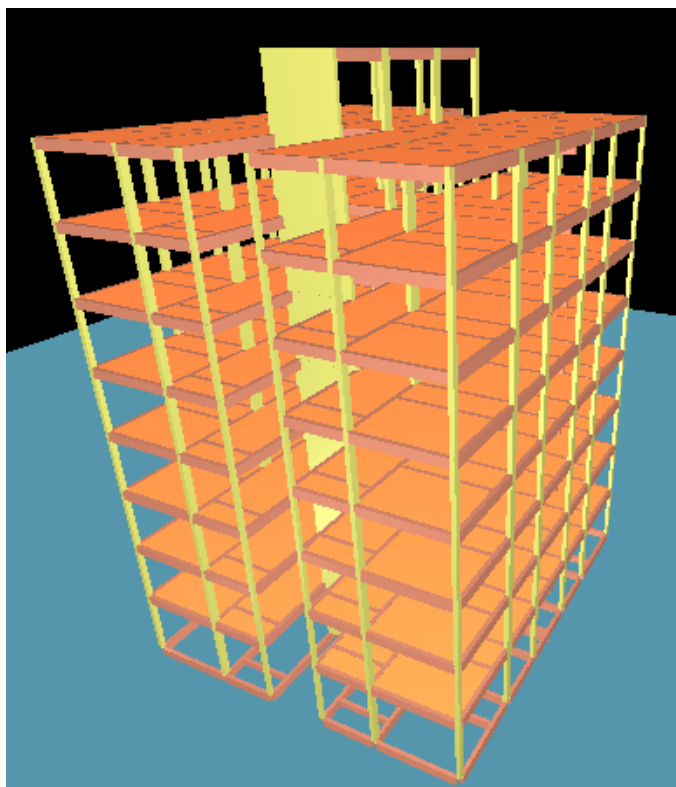


Figura 5 - Sistema de pórtico tridimensional da estrutura convencional vinculada a um núcleo rígido - Fonte: Adaptado do CAD/TQS (2016).

O novo esquema estrutural do pavimento tipo após a vinculação da estrutura a um núcleo rígido (pilar parede P27) pode ser notado através da figura 6, e verificado um gamaZ de 1,13 O novo gamaZ atende ao valor de referência (gamaZ ≤ 1.20) e classifica a estrutura como estrutura de nós móveis.

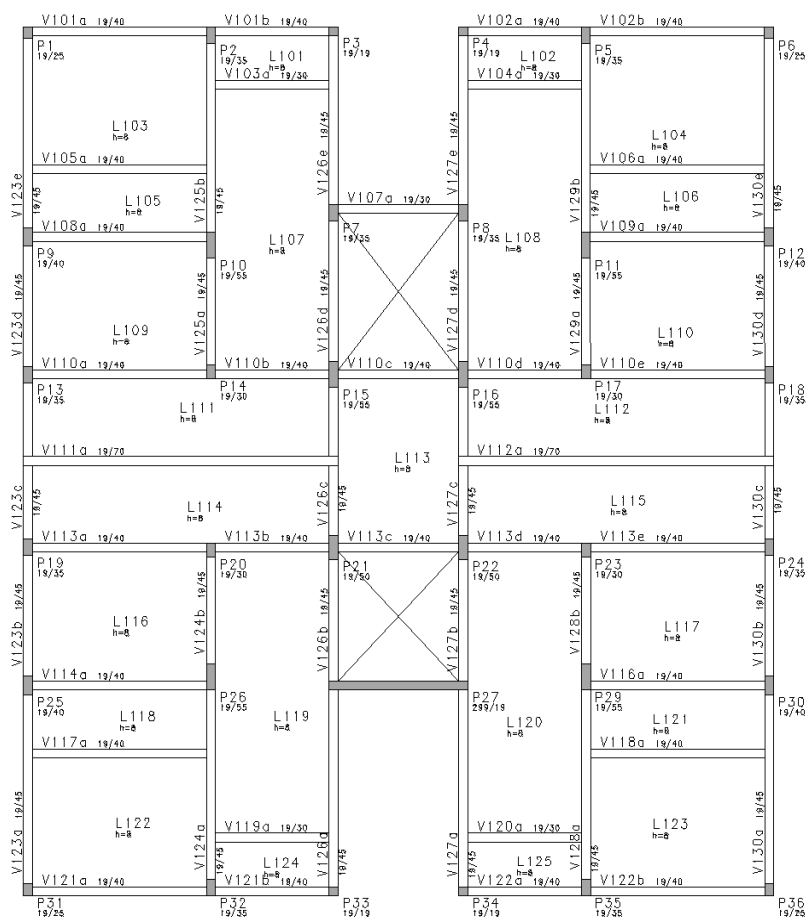


Figura 6- Lançamento e Concepção Final da Estrutura Convencional (Lajes, Vigas e Pilares) -Fonte: Adaptado do CAD/TQS (2016).

As lajes maciças convencionais o dimensionamento e as verificações são feitos para os estados limites últimos e de serviço. Destacam-se a flexão, flechas e abertura de fissuras.

O dimensionamento e detalhamento das lajes foram realizados pelo processo de grelha que possibilita a criação de faixas de esforços em posições diferentes da laje e armação para estas faixas. A figura 7 ilustra os momentos fletores que são apresentados neste processo onde os momentos positivos estão destacados na cor azul enquanto os negativos em vermelho.

O dimensionamento e as verificações das vigas são feitos para os estados limites últimos e de serviço. Destaca-se a flexão, cisalhamento, flechas e fissuração. Através do processamento das vigas foi possível analisar os diagramas dos esforços solicitantes. Os diagramas apresentados pelo sistema CAD/TQS® apontaram que em nenhum dos casos, nesta estrutura, foi notado momento torçor.

Assim como para as lajes e vigas, os pilares também são verificados não apenas para uma combinação, mas sim para várias. Para cada caso é feita uma verificação do estado limite último, ou seja, extrai-se uma linha neutra e a partir dessa linha neutra obtém-se os esforços solicitantes. Diante deste cenário consolidou-se o lançamento estrutural proposto na figura 6.

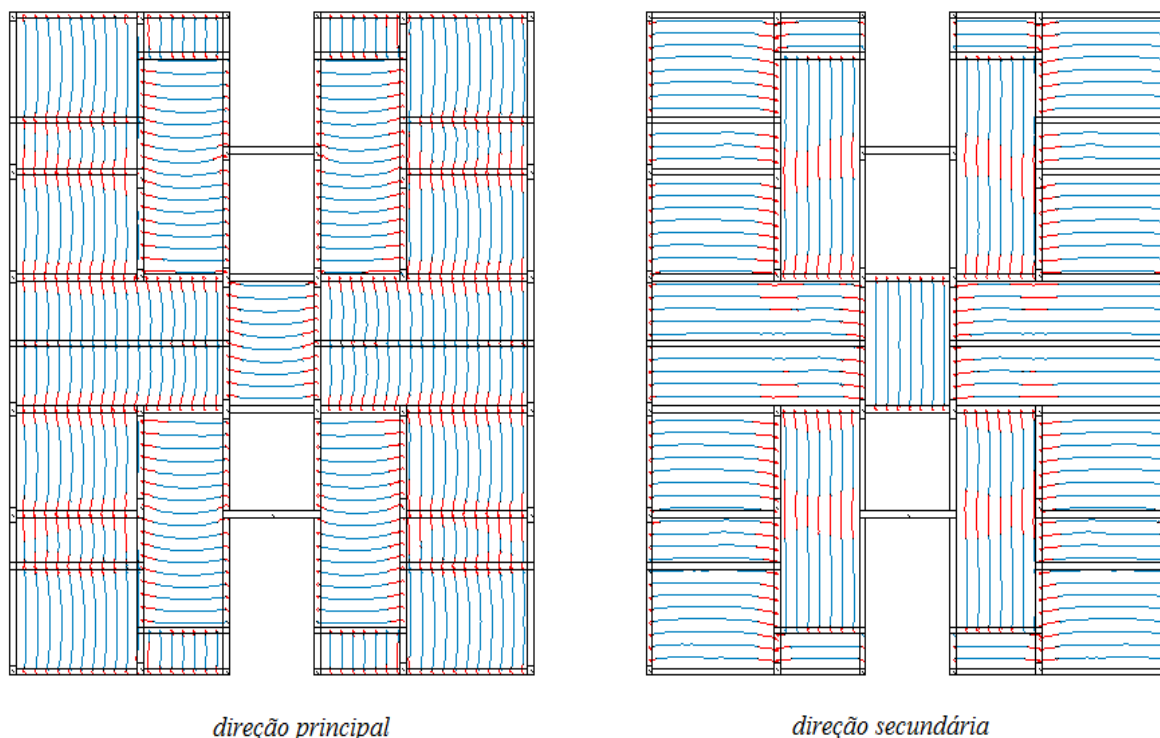


Figura 7- Distribuição de Momento Positivo e Negativos da Laje – Estrutura Convencional -
 Fonte: Adaptado do CAD/TQS (2016).

Para o dimensionamento dos elementos do sistema estrutural de lajes convencionais foram utilizados os insumos (concreto, fôrma e aço) indicados na tabela 1.

Tabela 1 – Consumo de Insumo por elemento estrutural, por pavimento no sistema de lajes de estruturas

Pavimento	Concreto (m³)			Fôrma (m²)			Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes
Cobertura do elevador	3	2	1	37	23	7	8189	102	109
Cobertura	8	14	20	125	154	238		734	1463
Tipo	59	118	125	889	1335	1556		7865	8832
Térreo	-	17	-	-	218	-		955	-
Total	70	151	146	1051	1730	1801		8189	9656

3.2 Sistema estrutural de lajes lisas

No sistema tradicional, como descrito no item anterior, as lajes apoiam-se em vigas, porém nesse sistema(Sistema estrutural de lajes lisas) não temos a presença de vigas. (CARVALHO e PINHEIRO, 2009), explicam que as lajes se apoiam diretamente sobre os pilares, devendo estar rigidamente ligadas a eles. Segundo a NBR 6118:2014 “laje-cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares com capitéis, enquanto lajes lisas são apoiadas nos pilares sem capitéis”.

O termo adequado para esses dois tipos de lajes seria lajes sem vigas, (CARVALHO e PINHEIRO, 2009). A partir da recomendação de cálculo das lajes em vigas de (CASTELO BRANCO, 1989)temos o seguinte roteiro para esse elemento: estimativa da espessura da laje; determinação das cargas atuantes; cálculo dos esforços solicitantes e das reações de apoio; cálculo das armaduras e verificação da laje à punção.

Foi decidido vincular a estrutura a um núcleo rígido. Foi inserido um pilar parede de 299cm x 19cm , na caixa de elevador. A figura 8 mostra o sistema de pórtico tridimensional da estrutura convencional vinculada a um núcleo rígido.

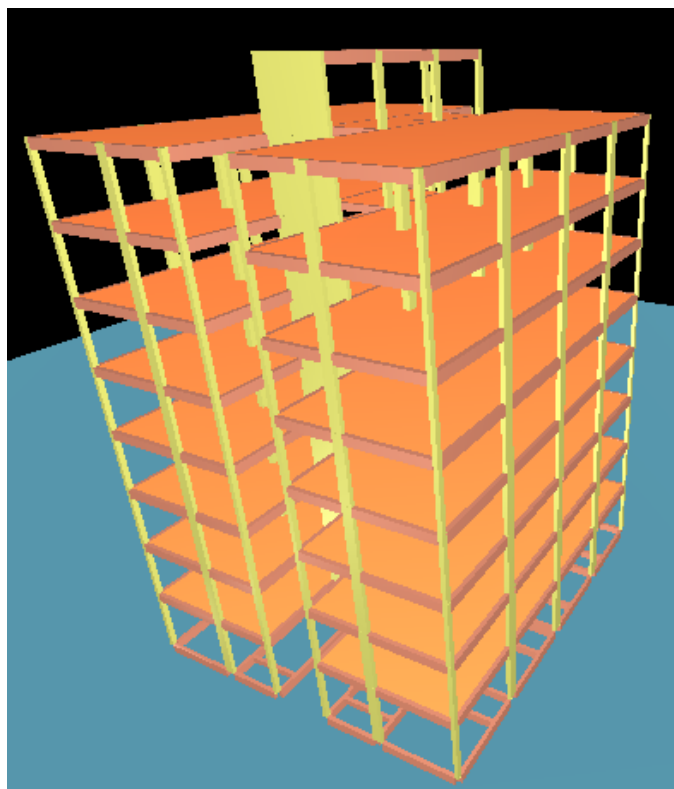


Figura 8- Sistema de pórtico tridimensional da estrutura de Lajes Lisas vinculada a um núcleo rígido -
Fonte: Adaptado do CAD/TQS (2016).

Posteriormente, foi processado o pórtico espacial com o novo esquema estrutural e foi observado um novo valor de gamaZ de 1,12 , atende ao valor de referência ($\text{gamaZ} \leq 1.20$) e classifica a estrutura como estrutura de nós móveis.

Para as lajes lisas, o dimensionamento e as verificações são feitos para os estados limites últimos e de serviço. Destaca-se a flexão, punção, colapso progressivo, flechas e abertura de fissuras. O dimensionamento e detalhamento das lajes lisas, assim como as lajes convencionais, foram realizados pelo processo de grelha e a figura 10 apresenta os momentos fletores obtidos através deste método, onde os momentos positivos estão destacados na cor azul enquanto os negativos em vermelho.

A preocupação adicional concentrou-se na punção, a qual esta forma de ruína pode se dar na ligação da laje com os pilares, e dentre as várias soluções recomendadas para combater este esforço, neste estudo de caso optou-se por duas alternativas: i) colocar armadura específica para combater as tensões que podem provocar a punção; ii) colocar vigas nas bordas.

Para tanto, foi necessário analisar as tensões solicitantes e resistentes nos contornos críticos dos pilares P10, P11, P16, P17, P22 e P25 que estão apoiados diretamente nas lajes. Os demais pilares, que recebem vigas, não apresentam necessidade de armadura complementar para combater o esforço da punção.

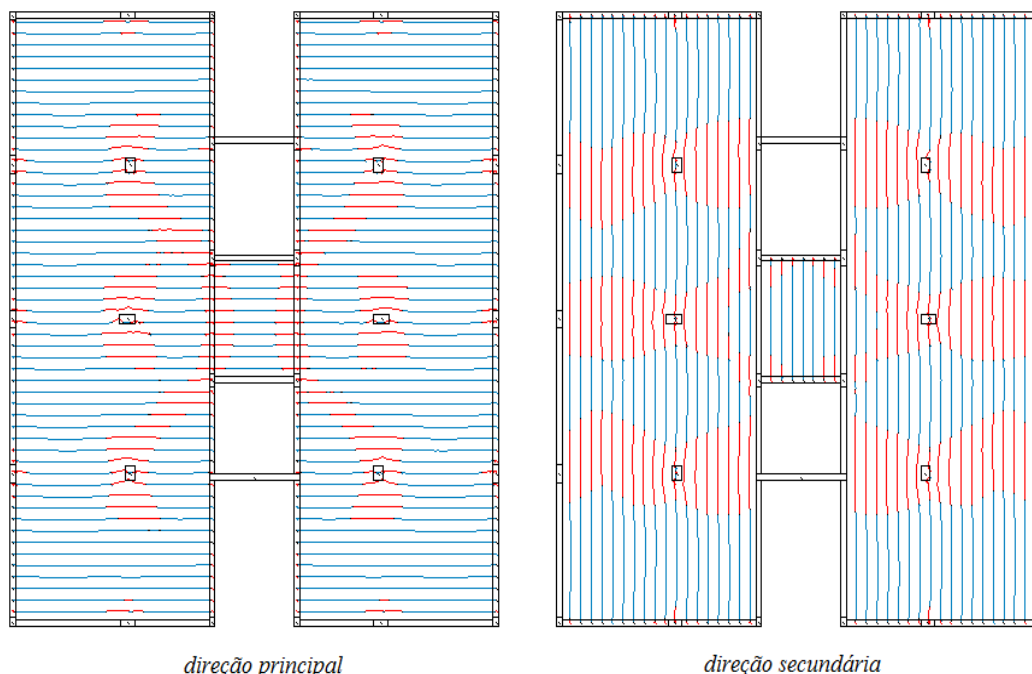


Figura 10- Distribuição de Momento Positivo e Negativos da Laje – Estrutura de Laje Lisa - Fonte: Adaptado do CAD/TQS (2016).

Através da figura 11 foi possível observar que no perímetro crítico C' em função da análise de grelha de laje e vigas combinadas a análise de elementos finitos, os momentos volventes de um lado a outro são diferentes, pois não há neste pilar simetria de um lado a outro da laje corroborando para que as tensões cisalhantes em apenas uma região requisitasse armadura de punção, destacada inclusive na figura 11 e 12.

O sistema CAD/TQS® não automatiza a distribuição de armaduras de punção em regiões específicas as quais não há necessidade dessa armadura mesmo em pilares que parcialmente requisitam esta armadura, portanto esta inserção ocorreu através do editor manual.

Além disso o colapso progressivo requisita verificar se a armadura de flexão positiva que atravessa os pilares é suficiente para absorver a carga concentrada. Partindo da taxa de armadura positiva das lajes, foi verificado se essa armadura atende o estabelecido, apontando os pilares com problemas. Com a falta armadura contra colapso progressivo na região da armadura de flexão positiva do pilar P11, pois a armadura existente é inferior à armadura necessária. Com a necessidade de acrescentar $3,79 \text{ cm}^2$ de armadura nesta região, foi decidido adicionar 5 barras $\phi 10\text{mm}$

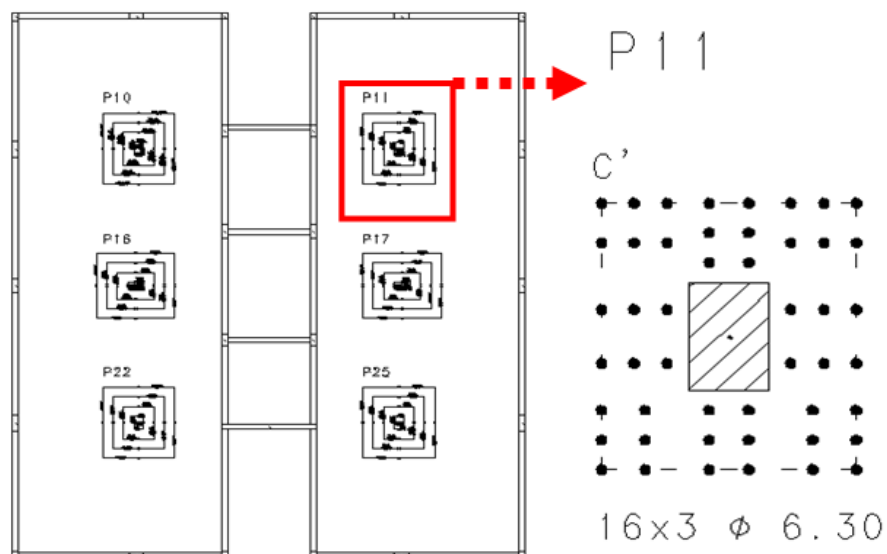


Figura 11 e 12- Necessidade de Armadura Complementar para Combater a Punção na Interface Pilar x Laje - Fonte: Adaptado do CAD/TQS (2016).

Os pilares P10, P16, P17, P22 e P25 também apresentaram a necessidade de acrescentar armadura contra colapso progressivo e foram dimensionados de forma análoga ao pilar P11. Assim como no dimensionamento do esforço de punção, essa armadura complementar também foi requisitada apenas nos pavimentos tipo.

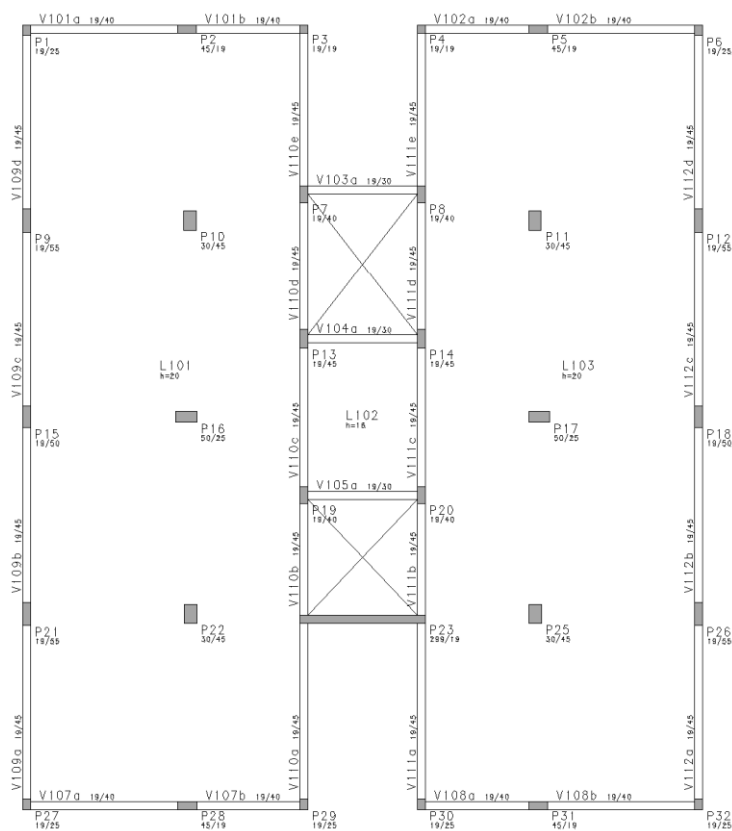
Nas vigas, assim como na estrutura convencional, o dimensionamento e as verificações das vigas de borda deste sistema são feitos para os estados limites últimos e de serviço. Através do processamento das vigas foi possível analisar os diagramas dos esforços solicitantes O momento torçor também não foi observado em nenhuma viga para esta solução estrutural.

Para o dimensionamento dos elementos do sistema estrutural de lajes lisas foram utilizados os insumos (concreto, fôrma e aço) indicados na tabela 2.

Tabela 2 – Consumo no sistema de lajes de estruturas de lajes lisas

Pavimento	Concreto (m³)			Fôrma (m²)			Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes
Cobertura do elevador	3	2	1	37	23	7	9422	102	109
Cobertura	9	8	50	123	80	251		482	3382
Tipo	64	56	337	874	576	1693		4474	38254
Térreo	-	17	-	-	218	-		955	-
Total	76	83	388	1034	897	1951	9422	6013	41745

Os pilares, assim como para as lajes e vigas, os pilares também são verificados não apenas para uma combinação, mas sim para várias. Para cada caso é feita uma verificação do estado limite último, ou seja, extrai-se uma linha neutra e a partir dessa linha neutra obtém-se



os esforços solicitantes. Diante deste cenário consolidou-se o lançamento estrutural proposto na figura 13

Figura 13- Lançamento e Concepção Final da Estrutura de Lajes Lisas -Fonte: Adaptado do CAD/TQS (2016).

Na seção a seguir são apresentados e discutidos os resultados da simulação comparativa proposta inerente aos dois casos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos serão demonstrados a partir de gráficos comparativos para melhor entendimento e apresentação da conclusão. Vale ressaltar que a comparação deste trabalho se refere ao pavimento tipo e cobertura.

4.1 Fôrma

Pode-se observar que o consumo total de fôrma da laje convencional é maior em quase 20% em relação à laje lisa, devido à redução de vigas, conforme grafico da figura 14 . Cabe reforçar que a diferença existente na laje ocorreu devido ao acréscimo de espessura da laje lisa, aumentando dessa forma o consumo de fôrma neste sistema. Nos pilares a diferença não foi tão sensível mesmo reduzindo o número de pilares em função do acréscimo de seção.

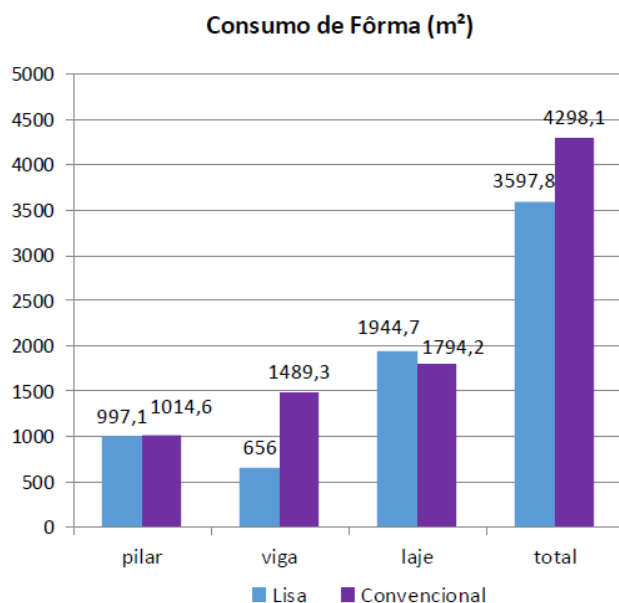


Figura 14- Comparação de consumo de fôrma das estruturas de laje lisa e laje convencional - Fonte: Os Autores (2016).

4.2 Concreto

Pode-se observar que o consumo total de concreto da laje lisa é maior em 52% em relação à laje convencional, mesmo que há uma grande redução nas vigas, mas em contrapartida, a laje lisa consome disparadamente maior quantidade de concreto, visto que a diferença de espessura entre as lajes é altamente significativa, onde a laje lisa é 2,5 vezes maior que a laje convencional, conforme gráfico da figura 15.

4.3 Aço

Para o consumo de aço a mesma percepção do concreto foi ratificada, também de forma proporcional. Sendo possível notar, que a laje lisa é a que mais consumiu aço, na qual o consumo total de aço é maior em 107% em relação à laje convencional. Salienta-se que a maior distorção evidentemente é na laje do sistema de laje lisa, conforme gráfico da figura 16.

O acréscimo de aço no pilar na estrutura de laje lisa justifica-se mais uma vez pelo ajuste de seção, contudo nas vigas esta diferença foi mais sensível a qual a estrutura de laje convencional teve um maior número de vigas, logo consome mais armadura.

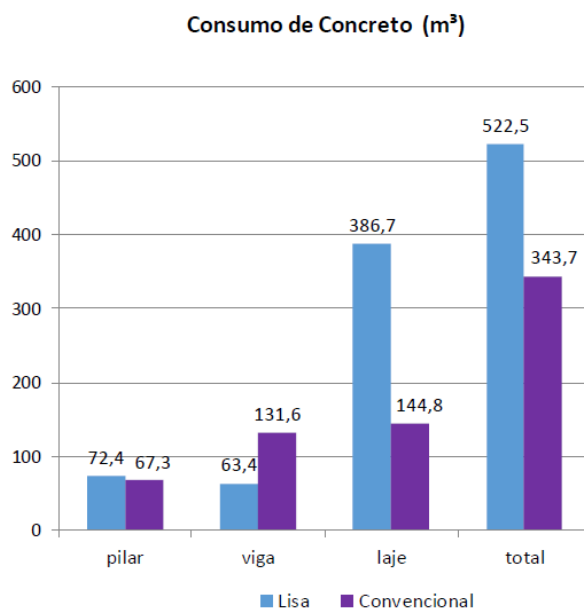


Figura 15- Comparação de consumo de concreto das estruturas de laje lisa e laje convencional - Fonte: Os Autores (2016).

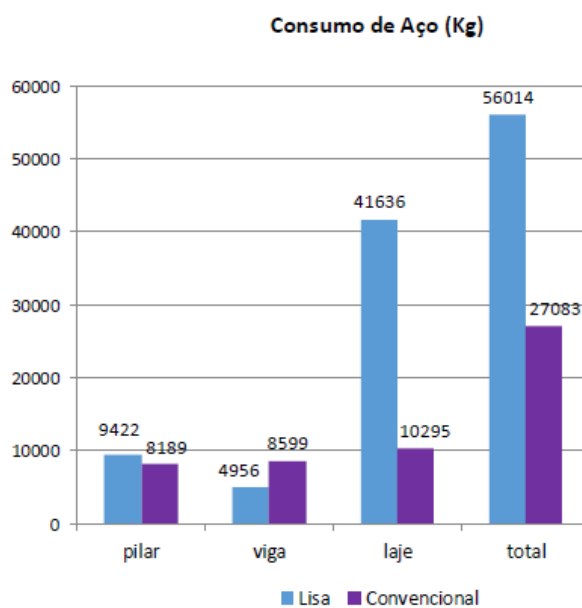


Figura 16- Comparação de consumo de Aço das estruturas de laje lisa e laje convencional - Fonte: Os Autores (2016).

4.4 Discussões

A relação entre o peso de aço e o volume de concreto para a laje convencional é proporcional, sendo perceptível conforme gráfico da figura 17, que conforme o concreto aumenta o consumo de aço também aumenta.

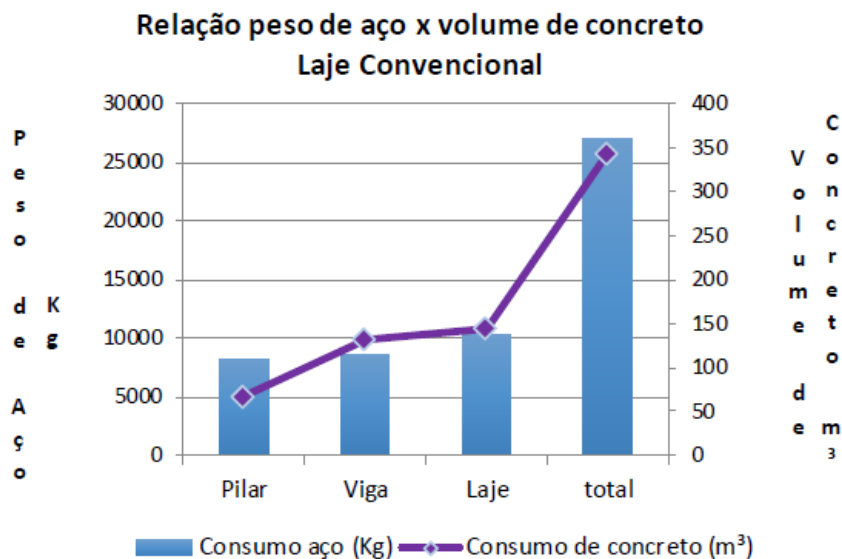


Figura 17- Relação peso de aço x volume de concreto na estrutura de laje convencional - Fonte: Os Autores (2016).

Comparando o peso do aço com o volume de concreto, como o gráfico representado conforme gráfico da figura 18, na estrutura de laje lisa a proporção também é ratificada, tendo um aumento disparado na laje, mas ambos os insumos crescem.

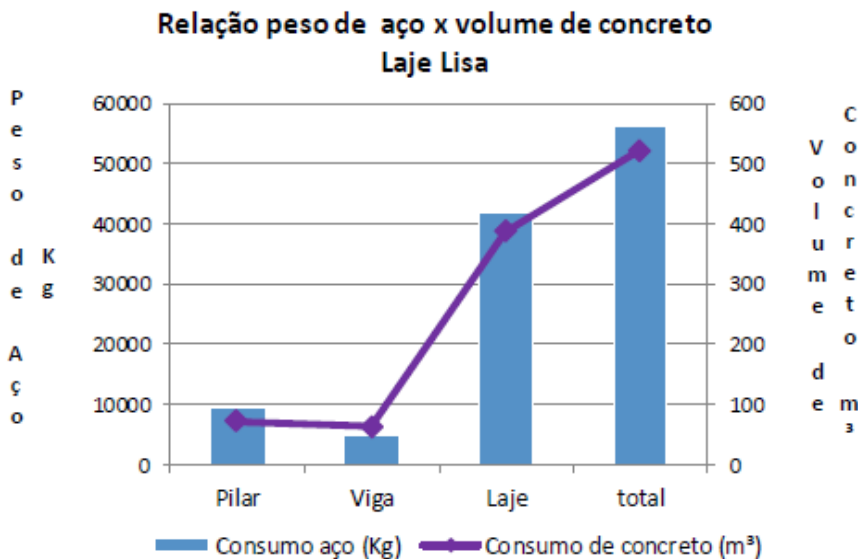


Figura 18- Relação peso de aço x volume de concreto na estrutura de laje lisa - Fonte: Os Autores (2016).

Também é possível comprovar conforme gráfico da figura 19, que a relação entre o volume de concreto e a fôrma da laje convencional é harmônica, ou seja, o aumento do consumo da área de fôrma cresce com o volume de concreto.

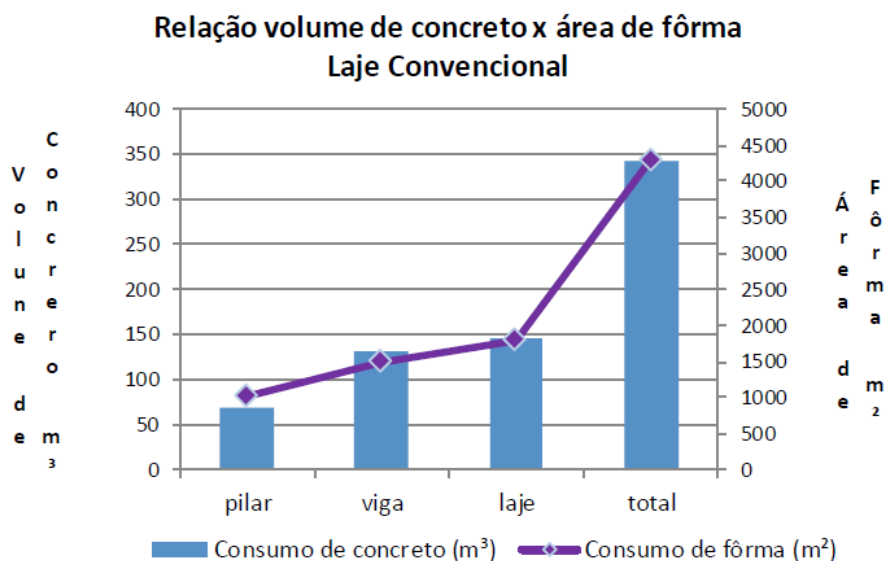


Figura 19- Relação volume de concreto x área de fôrma na estrutura de laje convencional - Fonte: Os Autores (2016).

No gráfico representado conforme grafico da figura 20 é possível observar que a relação entre o volume de concreto e a fôrma na estrutura de laje lisa é equilibrada, vale salientar que houve uma desproporção no consumo de concreto da viga, mas a área de fôrma acompanhou esta redução.

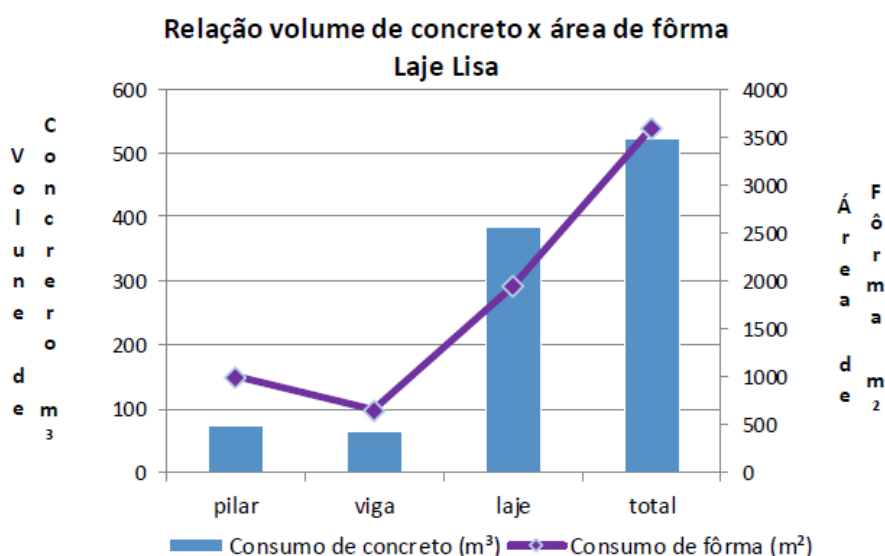


Figura 20- Relação volume de concreto x área de fôrma na estrutura de laje lisa- Fonte: Os Autores (2016).

Conforme conforme grafico da figura 21, a relação do peso do aço com a área de fôrma na estrutura de laje convencional, há um crescimento simultâneo no consumo dos insumos.

Na observância grafico da figura 22, pode-se verificar que houve um consumo maior de fôrma nos pilares e nas vigas em relação ao peso do aço, já na laje o volume de aço é maior que a quantidade de fôrma.

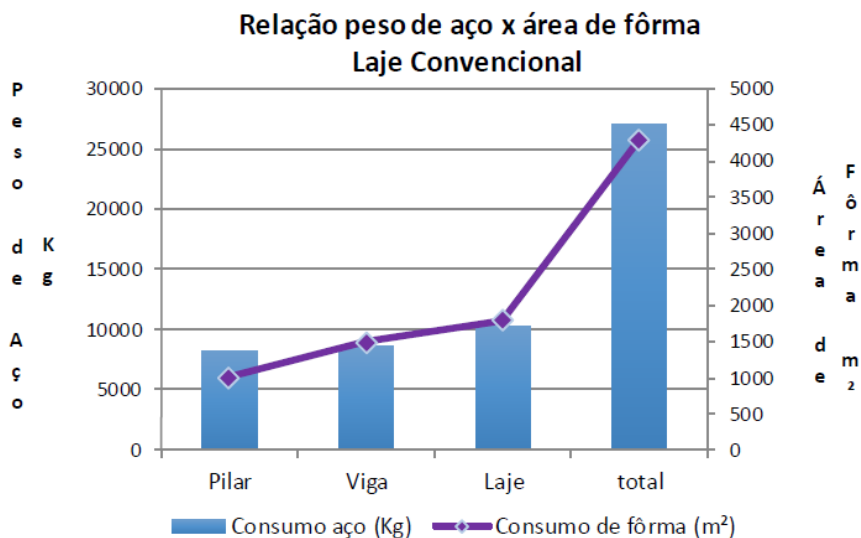


Figura 21- Relação peso de aço x área de fôrma na estrutura de laje convencional- Fonte: Os Autores (2016).

Como já apresentado nos resultados, podemos concluir a partir do gráfico representado conforme grafico da figura 23, que o consumo de concreto para a estrutura de laje convencional é melhor distribuído entre os elementos (pilares, vigas e lajes). Já na estrutura de laje lisa é notório que o volume de concreto não é proporcional entre os elementos, a laje lisa tem um acréscimo expressivo em quase 166% quando comparado ao sistema convencional, e consome 74 % do volume total de concreto da obra.

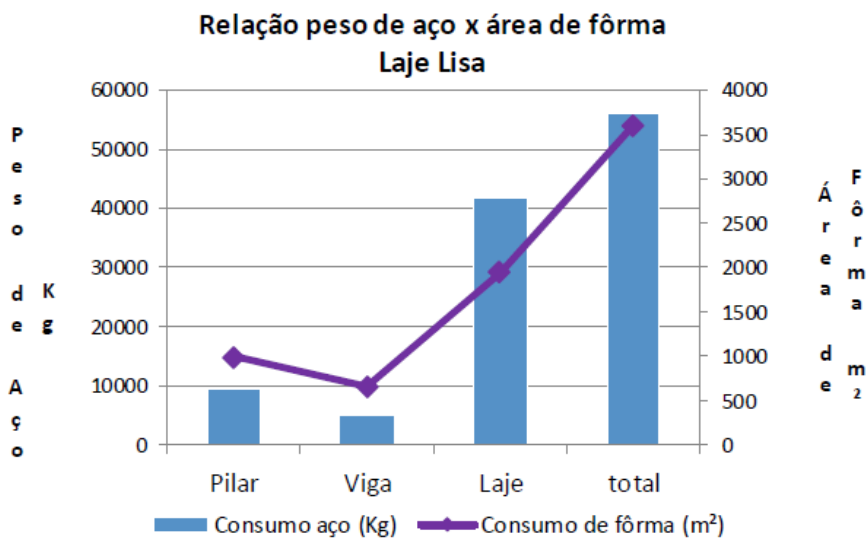


Figura 22- Relação peso de aço x área de fôrma na estrutura de laje lisa- Fonte: Os Autores (2016).

A redução do consumo do sistema com laje lisa, em comparação ao sistema convencional é verificado nas vigas, contudo esta redução é de aproximadamente 50%, não compensando o incremento de consumo na laje. Evidentemente a que laje de espessura de 20 cm é um fator determinante para esta desproporção

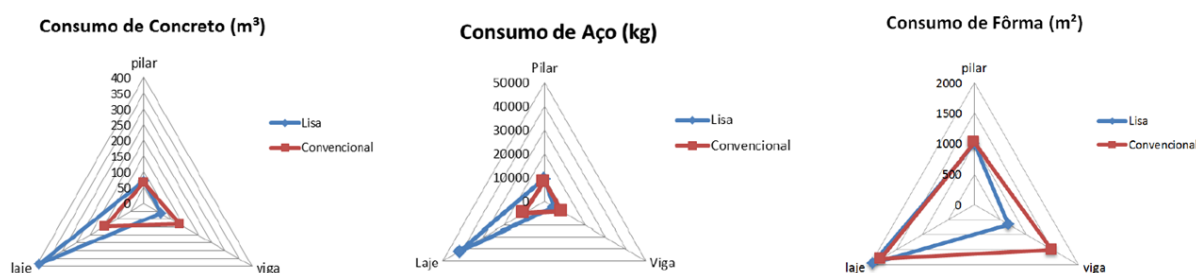


Figura 23- Consumo de Insumos por modelo estrutural e elemento estrutural- Fonte: Os Autores (2016).

Para o consumo de aço a mesma percepção do concreto foi ratificada, também de forma proporcional. Sendo possível notar pelo conforme grafico da figura 23, que a laje lisa é a que mais consumiu aço.

Analisando a área de fôrma conforme grafico da figura 23, podemos notar que o quantitativo para pilares e lajes são similares quando comparado as duas estruturas, mas na viga a estrutura de laje lisa tem uma redução significativa em relação à laje convencional, devido ao projeto de laje lisa conter menos vigas, a fim de vencer grandes vãos, obtendo uma eficiência de quase 100%.

No sistema com laje lisa é possível a redução do número de pilares, no sistema convencional foram observados trinta e cinco pilares, enquanto na laje lisa trinta e um e em ambos os sistemas o núcleo de rigidez contará com um pilar parede. Também cabe salientar que os pilares no núcleo do edifício no sistema com laje lisa requisitam um incremento em sua seção transversal.

A posição dos pilares também de um sistema à outro não são uniformes e no sistema com laje lisa a inserção da viga de borda, ou seja, uma viga perimetral em todo o edifício corrobora nas verificações à punção e colapso progressivo, contudo a torção deva ser verificada.

5. CONCLUSÕES

Com vistas ao referencial teórico e bibliográfico com sistemas estruturais em laje lisa e sistemas convencionais são aplicáveis em edifícios residenciais de baixo padrão, contudo vale salientar que adequações arquitetônicas no que tange, por exemplo, o pé direito e o comprimento livre entre os pilares são relevantes na análise, e este trabalho parametrizou essas alturas de forma uniformizadas.

Efeitos de segunda ordem, estabilidade global, gamaZ, são fatores relevantes na análise estrutural inclusive em edifícios de oito pavimentos exigindo independentemente do sistema estrutural a inserção de um núcleo de rigidez, que diante deste cenário na comparação de um sistema à outro não exerceu influência.

De forma específica em sistemas com laje lisa recomenda-se a especial atenção nas armaduras de colapso progressivo e punção, principalmente em andares tipo.

As combinações dos esforços últimos e de serviços com inserção do vento e demais esforços sem dúvidas é mais eficiente no que tange a velocidade de execução nos sistemas informatizados. Nesta sintonia a escolha do CAD/TQS® sem dúvida alguma proporcionou a

elaboração de uma concepção estrutural completa em dois modelos diferentes em um tempo hábil, possível inclusive em um trabalho de graduação, o que demonstra que a análise estrutural de edifícios de multi-pavimentos ganha escala de produção relevante com o apoio destes sistemas informatizados.

Entretanto, observa-se que a disponibilidade das ferramentas, bem como sua simplicidade e aplicabilidade não dispensa a perícia, habilidade e conhecimento técnico científico do engenheiro civil na inserção de parâmetros, modelagem e análise de resultados.

Uma análise complementar no trabalho em tela que pode ser extrapolada para outros trabalhos é a análise de resultados em modelos tridimensionais, a qual se torna simplificada nos sistemas informatizados, propiciando uma visão sistêmica e global do comportamento do edifício.

Também, a padronização na apresentação das variáveis é um ponto de atenção nos sistemas informatizados de tal forma que independentemente da escola e da fundamentação teórica adquirida, o calculista tenha facilidade na interpretação dos dados. No CAD/TQS® no relatório geral de pilares o índice de esbeltez apresentado não aclara a verificação do efeito de segunda ordem sendo necessário a análise no resumo de detalhamento, o qual são descritos os pilares que foram verificados com efeito de segunda ordem.

Então, a análise da montagem de carregamento é um relatório bastante complexo e extenso, que permite visualizar todas as análises, contudo não destaca de forma específica os pontos de atenção. Estruturas reticuladas com vãos uniformes com arquitetura linear também contribuem para o lançamento estrutural e dimensionamento mais simples, independente do sistema construtivo.

Diante de todo este trabalho, os resultados e conclusões ainda apontam na direção de um campo fértil à análise de trabalhos futuros, tais como: a verificação da eficiência dos modelos estruturais aqui estudados em subsolos, outras tipologias residenciais e outros gabaritos. Assim como a comparação entre os dois sistemas do comportamento quanto ao desempenho acústico em função das alterações das espessuras das lajes. E também, a análise comparativa dos insumos para modelos estruturais compostos por lajes nervuradas.

A análise dos elementos de fundação, bem como suas transições, não foram objeto de estudo e recomenda-se como trabalhos futuros a investigação dessa interface. Também avalia a eficiência das ferramentas informatizadas sob a óptica comparativa no tempo de processamento, parametrização, análise estrutural, discretização de resultados de outras alternativas, tais como: o Eberick®, Cypecad®, SAP2000®, Strap®. Tal análise também pode fornecer insumos na comparação dos esforços solicitantes e resistentes.

AGRADECIMENTOS

À TQS Informática LTDA® que nos concedeu uma licença temporária do software de cálculo estrutural que foi a nossa base fundamental e indispensável para elaboração deste trabalho. A Professora Catia Costa e Silva do Instituto Federal de São Paulo e ao Professor Fabio Maluf Jazra da Universidade São Judas Tadeu.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios* — Procedimento, ABNT NBR 12721. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de estruturas de concreto* – Procedimento, ABNT NBR 6118. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L.M. *Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado*. V2, 1 ed. Editora Pini. São Paulo, SP 2009.

CASTELO BRANCO, A.F.V. *Contribuição para o projeto de lajes-cogumelo*. Dissertação (Mestre em engenharia de estruturas), Universidade de São Paulo – Escola de engenharia de São Carlos. São Carlos, SP, 1989.

CRUZ, R.B.C., SANTOS, L.F. *Uso do método AHP na tomada de decisão para seleção de sistemas de lajes de edifícios comerciais*. Engenharia de estudo e pesquisa. ABPE, v.13 – n. 1. São Paulo, SP, 2013.

HENNRICHS, C. A. *Estudo sobre a modelagem de lajes planas de concreto armado*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2003

KIMURA, A. *Informática aplicada em estruturas de concreto armado: Cálculos de edifícios com o uso de sistemas computacionais*. Editora Pini. São Paulo, SP, 2007.

NERVO, R. *Análise comparativa dos sistemas estruturais de lajes convencionais e lajes nervuradas*. Trabalho de Diplomação (Graduação em engenharia civil) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, RS, 2012.

SPOHR, V. H. *Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas*. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Programa de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.