



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA ZONA-SUL
CURSO ENGENHARIA CIVIL**

ERIVALDO PEREIRA DO NASCIMENTO FILHO

**ANÁLISE COMPARATIVA COM FOCO EM ESTABILIDADE GLOBAL EM
EDIFÍCIOS DE MULTIPAVIMENTOS EM CONCRETO ARMADO UTILIZANDO
MODELOS DE CÁLCULO IV E VI DO SOFTWARE CAD/TQS**

TERESINA-PI

2026

ERIVALDO PEREIRA DO NASCIMENTO FILHO

ANÁLISE COMPARATIVA COM FOCO EM ESTABILIDADE GLOBAL EM
EDIFÍCIOS DE MULTIPAVIMENTOS EM CONCRETO ARMADO UTILIZANDO
MODELOS DE CÁLCULO IV E VI DO SOFTWARE CAD/TQS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para Disciplina de TCC 2 Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Zona-sul.

Orientador: Prof. Dr. Wallison Angelim Medeiros.

TERESINA-PI

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Filho, Erivaldo Pereira do Nascimento

F478a Análise comparativa com foco em estabilidade global em edifícios de multipavimentos em concreto armado utilizando modelos de cálculo iv e vi do software CAD/TGS / Erivaldo Pereira do Nascimento Filho. - 2026.
69 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Zona Sul, 2026.

Orientador : Prof Dr. Wallison Angelim Medeiros.

1. Estabilidade global. 2. Lajes lisas. 3. CAD/TQS. 4. Análise computacional. 5. Gama-Z. 6. Modelo IV. 7. Modelo VI. I.Título.

CDD - 624

Elaborado por Rudney do Carmo Paz CRB 3/1117

ERIVALDO PEREIRA DO NASCIMENTO FILHO

ANÁLISE COMPARATIVA COM FOCO EM ESTABILIDADE GLOBAL EM
EDIFÍCIOS DE MULTIPAVIMENTOS EM CONCRETO ARMADO UTILIZANDO
MODELOS DE CÁLCULO IV E VI DO SOFTWARE CAD/TQS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para Disciplina
de TCC 2 Curso de Engenharia Civil do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí,
Campus Teresina Zona-sul.

Aprovada em: 12/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Wallison Angelim (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Helder Pontes
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Fernando Guimarães
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

AGRADECIMENTO

Agradeço à minha mãe e a meu pai, Lucineusa e Erivaldo, por terem se esforçado para me dar a melhor educação e os melhores ensinamentos que podiam. Sem eles nada disso seria possível.

À minha irmã, Whânela, que tanto esteve comigo do meu lado desde que cheguei no mundo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Wallison Angelim, por aceitar a orientação deste tema que tanto tinha curiosidade de entender, por nossas conversas, pela extrema atenção, compreensão e compromisso em todas as dúvidas que tive durante o processo de escrita.

A todos meus amigos que fiz durante a faculdade, em especial minha namorada Clarelina durante os três anos de amor, companheirismo, risadas e apoio.

A todos meus amigos que fiz durante meu estágio na CETEC que me ajudaram sempre que podiam e alegravam a rotina no dia a dia de trabalho e aprendizado.

À DEUS!!

RESUMO

A análise da estabilidade global em edifícios altos de concreto armado é sensível às premissas de modelagem adotadas, especialmente em sistemas que dispensam o uso de vigas. O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa entre os modelos de cálculo IV (Pórtico e Grelha desacoplados) e VI (Pórtico Espacial Integrado) do software CAD/TQS, avaliando seu impacto nos parâmetros de estabilidade (gama-Z) e na deslocabilidade horizontal. A metodologia consistiu na simulação numérica de edifícios de múltiplos pavimentos, comparando duas tipologias estruturais: sistema convencional (viga-pilar-laje) e sistema de lajes lisas nervuradas. Os resultados demonstraram que, para o sistema convencional, a alternância entre modelos gera variações marginais nos coeficientes de estabilidade, devido à preponderância das vigas no travamento pórtico. Contudo, para o sistema de lajes lisas, observou-se uma divergência crítica: o Modelo IV, fundamentado na hipótese de diafragma rígido simples, resultou em um coeficiente gama-Z de 1,60, diagnosticando a estrutura como instável. Em contrapartida, o Modelo VI, ao integrar a rigidez à flexão da laje na matriz global, reduziu o coeficiente para 1,21 (redução de 24%), classificando a estrutura como nós móveis. Conclui-se que a adoção de modelos integrados é mandatória para a análise segura de edifícios de lajes lisas, uma vez que a negligência do efeito de pórtico formado pelo conjunto laje-pilar pode conduzir a diagnósticos de instabilidade equivocados e sobredimensionamentos desnecessários.

Palavras-chave: Estabilidade Global. Lajes Lisas. CAD/TQS. Análise Computacional. Gama-Z. Modelo IV. Modelo VI

ABSTRACT

The analysis of global stability in high-rise reinforced concrete buildings is sensitive to the modeling assumptions adopted, especially in systems that with beams. This work aims to perform a comparative analysis between calculation models IV (Decoupled Grid and Frame) and VI (Integrated Spatial Frame) of the CAD/TQS software, evaluating their impact on stability parameters (Gama-Z) and horizontal displacement. The methodology consisted numerical simulation of multi-story buildings, comparing two structural typologies: conventional system (beam-column-slab) and waffle flat slab system. The results showed that, conventional system, alternating between models generates marginal variations in stability coefficients due to the preponderance of beams in the frame locking. However, for the flat slab system, a critical divergence was observed: Model IV, based on the simple rigid diaphragm hypothesis, resulted in a Gama-Z coefficient of 1,60, diagnosing the structure as unstable. In contrast, Model VI, by integrating the slab's flexural stiffness into the global matrix, reduced the coefficient to 1,21 (a 24% reduction), technically validating the project. It is concluded that the adoption of integrated models is mandatory for the safe analysis of flat slab buildings, since neglecting the frame effect formed by the slab-column assembly can lead to erroneous instability diagnoses and unnecessary oversizing.

Palavras-chave: Global Stability. Flat Slabs. CAD/TQS. Computational Analysis. Gama-Z. Model IV. Model VI

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução dos modelos computacionais	16
Figura 2 - Pórtico do Sistema de Laje lisa no modelo IV.....	18
Figura 3 - Imagem Ilustrativa do Modelo VI.....	19
Figura 4 – Pórtico do Sistema de Laje lisa no modelo VI.....	20
Figura 5 - Sistema construtivo tradicional	21
Figura 6 - Laje lisa (a) e laje-cogumelo (b).....	21
Figura 7 – Laje lisa nervurada.....	22
Figura 8 – Relação Momento-Curvatura	24
Figura 9 – Coeficientes de NLF para os elementos estruturais.....	25
Figura 10 – Estruturas de nós fixos.....	26
Figura 11 – Estrutura de nós móveis.....	27
Figura 12 – Estrutura não simétrica	30
Figura 13 - Deslocamento horizontal devido à carga vertical.....	31
Figura 14 – P-Delta e processo incremental	31
Figura 15 – Pórtico com consideração de efeitos construtivos.....	33
Figura 16 - Planta de forma do modelo de laje lisa	37
Figura 17 - Corte Esquemático do modelo de laje lisa	39
Figura 18 - Planta de forma do modelo convencional	41
Figura 19 - Corte Esquemático do modelo convencional	42
Figura 20 – Parâmetros de Vento para o Modelo de Laje Lisa.....	45
Figura 21 – Parâmetros de Vento para o Modelo Convencional	45
Figura 22 – Geometria laje nervurada.....	46

SUMÁRIO

AGRADECIMENTO.....	15
RESUMO	16
ABSTRACT	17
LISTA DE FIGURAS.....	18
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 JUSTIFICATIVA.....	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 OBJETIVO GERAL	13
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 ANÁLISE E MODELO ESTRUTURAL.....	13
2.2 TIPOS DE MODELOS E SOFTWARE DE ANÁLISE.....	14
2.3 MODELO IV (PÓRTICO E GRELHA SEPARADO).....	16
2.4 MODELO VI (PÓRTICO E GRELHA INTEGRADOS)	18
2.5 SISTEMAS CONSTRUTIVOS	21
2.6 SISTEMA DE CONTRAVENTAMENTO.....	23
2.7 ESTABILIDADE DA ESTRUTURA	24
2.8 NÃO LINEARIDADE FÍSICA (NLF)	24
2.9 PARÂMETROS DE ESTABILIDADE.....	26
2.9.1 Estrutura de Nós Fixos.....	26
2.9.2 Estrutura de Nós Móveis	27
2.10 PARÂMETRO DE INSTABILIDADE ALFA	28
2.11 GAMA Z.....	29
2.12 COEFICIENTE FAVT	30
2.13 P-DELTA E RELAÇÃO RM2RM1.....	31
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	34
3.1 MODALIDADE DE PESQUISA	34
3.2 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS.....	35
3.3 MODELOS DO ESTUDO DE CASO	37
3.3.1 Modelo IV e Modelo VI de Laje Lisa	37
3.3.2 Modelo IV e Modelo VI - Convencional.....	40
3.4 MATERIAIS.....	43
3.5 CARGAS VERTICAIS.....	44
3.6 CARGAS HORIZONTAIS	44
3.7 LANÇAMENTO DAS LAJES.....	46

3.8	COMBINAÇÕES DA ANÁLISE ESTRUTURAL	47
3.9	RECURSOS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS.....	47
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS ESTRUTURAIS	48
4.1.1	<i>Comparação do Yz entre modelos estruturais.....</i>	<i>49</i>
4.1.2	<i>Comparação do Yz entre os sistemas construtivos.....</i>	<i>53</i>
4.1.3	<i>Tempo de processamento dos modelos.....</i>	<i>56</i>
5.	CONCLUSÃO.....	56
5.1	ALTA SENSIBILIDADE EM LAJES LISAS	56
5.2	BAIXA INFLUÊNCIA EM ESTRUTURAS CONVENCIONAIS.....	57
5.3	O QUE NÃO FOI POSSÍVEL RESPONDER.....	57
5.4	RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS	57
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
7.	REFERÊNCIAS	5959
	APÊNDICE A – RESULTADOS DOS MODELOS NO CAD/TQS.....	6060
	APÊNDICE B – PLANTA DE FORMAS E LOCAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO.....	6869

1. INTRODUÇÃO

Na engenharia estrutural, o sistema “tradicional” composto por pilares, vigas e lajes tem sido amplamente utilizado em projetos de concreto armado. Esse modelo, consolidado ao longo do tempo, oferece uma abordagem eficiente para o dimensionamento de edificações. Contudo, com o avanço da arquitetura moderna, sistemas estruturais alternativos, como as lajes lisas, têm ganhado destaque. Esse tipo de solução proporciona maior flexibilidade no aproveitamento dos espaços, eliminando interferências visuais de vigas e permitindo uma interação mais harmônica com o design arquitetônico.

Nesse cenário, com a inserção de computadores nos escritórios de engenharia, a análise estrutural passou a ser vista como uma simulação computacional do comportamento das estruturas (MARTHA, 2017). Fischer (2003) destaca que o uso de softwares torna a indústria da construção mais competitiva, permitindo simular o mesmo edifício diversas vezes para gerar a versão mais otimizada. Porém, a ascensão dos recursos computacionais não dispensa o papel protagonista do engenheiro na concepção e escolha do modelo estrutural adequado.

O software nacional CAD/TQS se mostra uma importante e completa ferramenta para elaboração de projetos estruturais, pois abrange desde a concepção do modelo estrutural até detalhamentos finais do projeto. O software possui em seu sistema dois modelos estruturais a serem adotados no momento da concepção de um novo projeto: o Modelo IV e o Modelo VI. Ambos foram desenvolvidos com otimizações de modelos disponíveis anteriormente e se diferem principalmente na forma de análise da laje do pavimento: enquanto o Modelo IV considera um sistema de pórtico espacial (pilares e vigas) em conjunto com a ação do pavimento discretizado conforme modelo adotado, o Modelo VI trabalha incorporando pilares, vigas e a laje em um único pórtico espacial (TQS INFORMÁTICA LTDA, c2018b).

Diante disso, este trabalho propõe uma análise comparativa entre os modelos IV e VI do CAD/TQS, aplicada a edifícios de múltiplos pavimentos com tipologias distintas. A escolha por analisar edifícios altos (na faixa de 19 a 22 pavimentos) e com diferentes sistemas construtivos justifica-se pela necessidade de avaliar cenários onde os efeitos de segunda ordem são preponderantes. Nesses casos, a sensibilidade da estrutura à escolha do modelo computacional é crítica, influenciando diretamente

nos parâmetros normativos de estabilidade definidos pela ABNT NBR 6118:2023.

1.1 JUSTIFICATIVA

O software CAD/TQS oferece dois modelos estruturais principais que podem gerar resultados distintos na análise de estabilidade global, devido à consideração diferenciada da laje nos cálculos. Em projetos que utilizam lajes lisas, sistema que vem ganhando cada vez mais espaço na indústria da construção, essas diferenças tornam-se ainda mais evidentes. As lajes lisas, compostas apenas por pilares e lajes, destacam-se por eliminar uma grande parcela de vigas do modelo, possibilitando maior flexibilidade arquitetônica e melhor aproveitamento dos espaços, enquanto o sistema convencional (pilares, vigas e lajes) continua sendo amplamente adotado pela robustez de sua aplicação tradicional.

É justamente na escolha do modelo que reside o problema científico desta pesquisa: modelos estruturais distintos produzem discrepâncias significativas nos coeficientes de estabilidade global, podendo levar a diagnósticos equivocados sobre a viabilidade estrutural. A aplicação incorreta de um modelo simplificado em estruturas que dependem do efeito de diafragma da laje (como nas lajes lisas) pode resultar em parâmetros de instabilidade irreais, encarecendo a estrutura ou mascarando comportamentos de risco.

Diante disso, essa diversidade de abordagens no CAD/TQS levanta dúvidas sobre a escolha do modelo mais adequado aos engenheiros civis recém-formados e estudantes da graduação para cada situação. Sendo assim questões relacionadas à eficiência estrutural, ao custo de materiais e à viabilidade prática tornam-se relevantes no contexto de projetos modernos.

Além disso, o trabalho possui relevância acadêmica e profissional ao abordar as dúvidas comuns de engenheiros recém-formados e estudantes. A aplicação incorreta de um modelo simplificado (Modelo IV) em uma estrutura que exige análise integrada (Modelo VI) pode levar a um sobredimensionamento antieconômico ou, pior, à aprovação de estruturas instáveis.

Além da precisão técnica, a viabilidade prática do projeto depende do custo computacional. Modelos refinados (Modelo VI) exigem maior tempo de processamento devido à complexidade das iterações não-lineares. Portanto, justifica-se investigar a relação custo-benefício entre o tempo de máquina despendido e a

precisão obtida, definindo quando o modelo mais robusto é indispensável ou quando a agilidade do modelo simplificado é suficiente.

Portanto, a pesquisa se fundamenta na necessidade de investigar comparativamente eficiência estrutural, os parâmetros de estabilidade e custo computacional, fornecendo diretrizes claras sobre qual modelo adotar para garantir a segurança e a viabilidade de projetos modernos, auxiliando na tomada de decisão projetual.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos dessa pesquisa exercem papéis mediadores entre o tema central e a hipótese a ser confirmada ou não durante a execução do estudo. A seguir são apresentados os objetivos gerais e específicos do estudo.

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar os dois modelos cálculo estruturais disponíveis no software CAD/TQS analisando a estabilidade global de edifícios de múltiplos pavimentos e assim identificar qual o modelo mais adequado para cada tipo de estrutura.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos:

- I) Definir edifícios com uma mesma planta baixa, porém com sistema estruturais diferentes, seja convencional (pilares, viga e laje) ou de lajes lisas (pilares e laje);
- II) Estudar acerca dos critérios de projeto relativos à análise de pórtico espacial considerando os dois modelos de edifícios adotados utilizando o Modelo IV e Modelo VI, definidos no software CAD/TQS;
- III) Analisar os parâmetros de estabilidade global (coeficiente gama-Z e deslocamentos horizontais) considerando a influência do modelo estrutural adotado;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ANÁLISE E MODELO ESTRUTURAL

A análise estrutural é um processo fundamental no projeto de estruturas, sendo

empregada para prever o comportamento de edifícios e sistemas construtivos quando submetidos a diversas combinações de carregamentos. A compreensão dos esforços internos, deslocamentos e reações nos apoios é essencial para garantir a segurança, estabilidade e economia da construção. Essa análise pode ser realizada através de diferentes modelos e técnicas computacionais, considerando as propriedades dos materiais e as condições de contorno da estrutura.

O modelo estrutural é uma representação simplificada da estrutura real que busca reproduzir seu comportamento de forma a facilitar a análise. A definição do modelo depende de fatores como tipo de estrutura, sistema construtivo e condições de carregamento. As simplificações feitas devem preservar as características essenciais da estrutura para garantir resultados confiáveis.

2.2 TIPOS DE MODELOS E SOFTWARE DE ANÁLISE

A análise estrutural dispõe de uma diversidade de modelos matemáticos, cuja seleção deve ser pautada pela complexidade do sistema construtivo e pela natureza dos esforços solicitantes. Inicialmente, destacam-se os modelos de barras, que são a forma mais elementar de discretização, representando elementos lineares como pilares, vigas e treliças. Nessa abordagem, os elementos são conectados por nós — que podem ser rígidos ou rotulados — permitindo uma verificação eficiente do comportamento axial e de flexão. Conforme destaca Martha (2017), embora simplificados, esses modelos unidimensionais constituem a base para a compreensão do fluxo de forças em estruturas reticuladas, sendo fundamentais para o pré-dimensionamento e verificação de elementos isolados.

Para capturar o comportamento de pavimentos, a analogia de grelha consolidou-se como uma técnica eficiente, permitindo discretizar lajes em uma malha de barras que simula a rigidez à flexão e torção (KIMURA, 2018). No entanto, a necessidade de verificar a estabilidade global impulsionou a adoção de modelos de pórtico espacial. Nesta abordagem, pilares, vigas e lajes são integrados em um único sistema tridimensional, permitindo que a estrutura responda de forma conjunta às ações horizontais e verticais.

Para situações que envolvem elementos de superfície com geometria complexa ou curvatura, como reservatórios, cúpulas e lajes curvas, utilizam-se modelos de

casca. Além disso, com o avanço da capacidade de processamento, os modelos tridimensionais passaram a integrar lajes, pilares e vigas em um único sistema espacial. Estes representam a estrutura de forma espacial e integrada, permitindo uma simulação realista do comportamento global da edificação. Para Carvalho e Pinheiro (2013), a utilização de modelos de pórtico espacial que integram fundações, pilares, vigas e lajes é essencial para a verificação correta da estabilidade global, pois considera a interação completa entre todos os elementos estruturais em um único sistema.

No cenário de softwares de engenharia, plataformas internacionais baseadas no Método dos Elementos Finitos (MEF), como: SAP2000, ETABS, Robot, Strap entre outros, operam nativamente com modelagem espacial completa. No Brasil, o sistema CAD/TQS destaca-se por oferecer uma abordagem híbrida e adaptável. O software permite ao projetista alternar entre refinamentos teóricos distintos: desde modelos simplificados que separam a análise de lajes e pórticos (Modelo IV), até modelos integrados que simulam o comportamento conjunto de todos os elementos (Modelo VI).

Essa flexibilidade é vantajosa, mas exige critério técnico apurado. Estudos recentes, como o publicado por Bortoli (2023), alertam para a alta sensibilidade dos parâmetros de estabilidade global (gama-Z) frente às premissas de modelagem adotadas. No contexto específico do software CAD/TQS, a utilização de modelos integrados (Modelo VI) resulta em uma representação mais fiel da rigidez global, reduzindo os deslocamentos horizontais calculados e evitando diagnósticos de instabilidade equivocados em comparação aos modelos de grelha isolada.

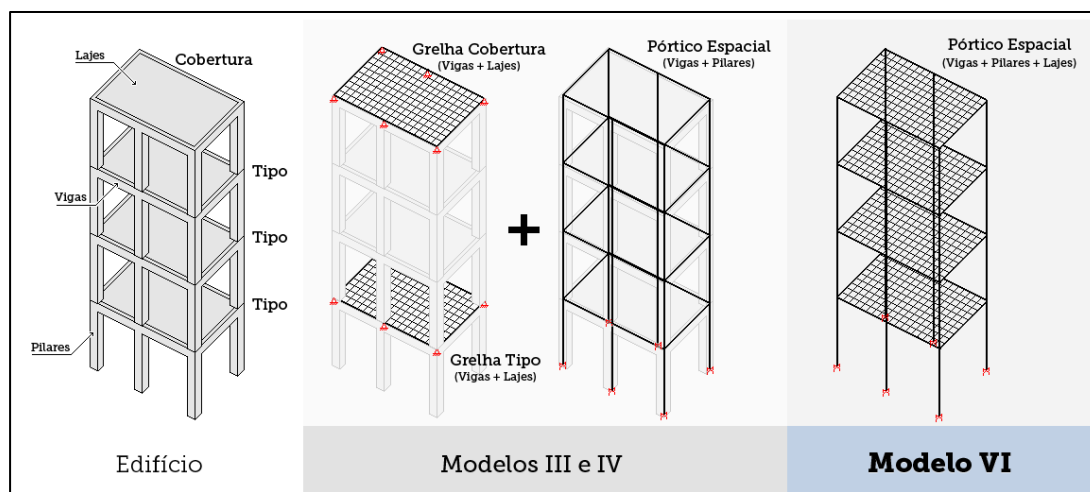
Diante dessa evolução tecnológica, os softwares especializados tornaram-se ferramentas indispensáveis para a execução dessas análises complexas com segurança e produtividade. O software CAD/TQS, amplamente difundido no mercado brasileiro e objeto deste estudo, exemplifica uma plataforma robusta capaz de realizar a modelagem e o dimensionamento de estruturas de concreto armado. Para edifícios de lajes lisas, a própria desenvolvedora do software (TQS INFORMÁTICA, 2023) recomenda a utilização de modelos integrados (Modelo VI), pois somente a consideração da rigidez real da laje no pórtico espacial garante a precisão correta na análise dos efeitos de segunda ordem e da estabilidade global.

2.3 MODELO IV (PÓRTICO E GRELHA SEPARADO)

Nesse modelo, o sistema estrutural é analisado separadamente como pórticos (responsáveis pelos pilares e vigas) e grelhas (representação das lajes). Embora simplificado, é eficaz para estruturas regulares e fornece resultados confiáveis quando há compatibilidade adequada entre os sistemas.

Quando selecionado dentre as opções disponíveis na aba Modelo dentro do Editor de dados do edifício no CAD/TQS, o Modelo IV se intitula “Modelo de vigas e pilares, flexibilizado conforme critérios”. Este modelo é concebido por um pórtico espacial para a iteração de pilares e vigas trabalhando em conjunto com os modelos dos pavimentos para incorporação da laje. O pórtico é modelado através de barras simulando vigas e pilares com o descarregamento dos esforços vindo da laje, elemento entendido como diafragma rígido. A laje é considerada como um elemento extremamente rígido, que provoca a compatibilização dos deslocamentos em todos os nós do pavimento, no CAD/TQS este efeito é simulado aumentando a rigidez lateral das vigas (MONCAYO, 2011), conforme a figura 1.

Figura 1 - Evolução dos modelos computacionais

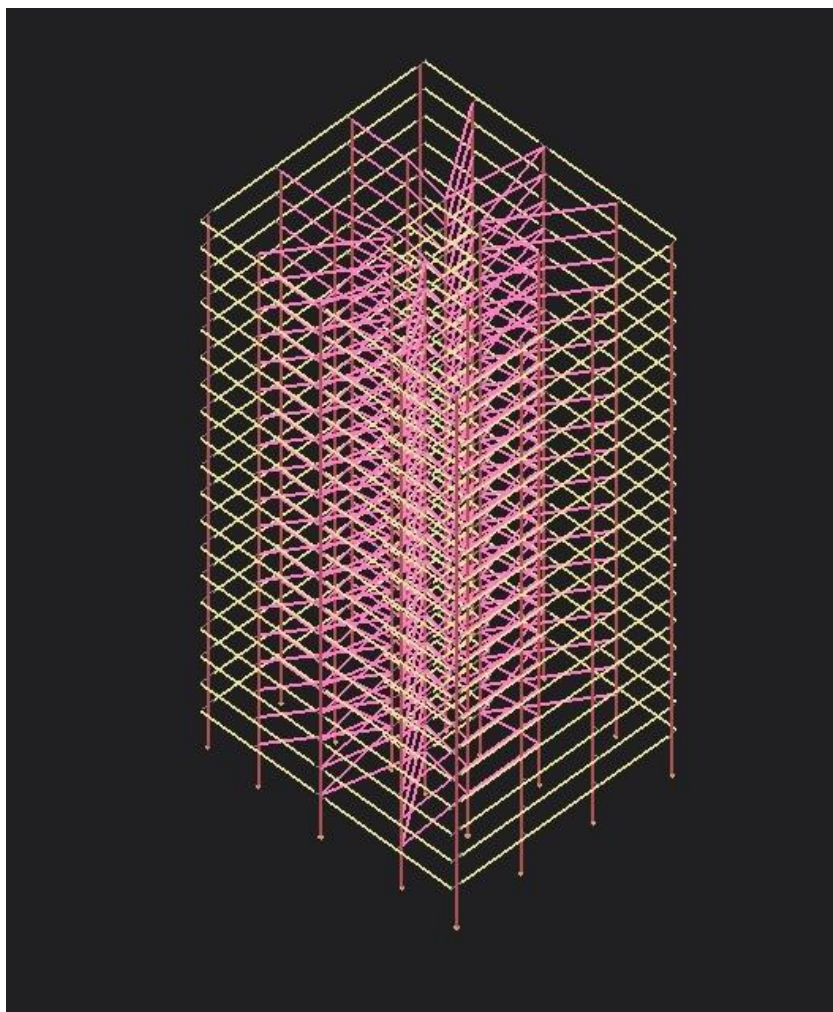


Fonte: TQS Informática

O Modelo IV adota uma simplificação clássica na análise matricial de edifícios: a hipótese do diafragma rígido infinito em seu plano. Computacionalmente, o software vincula os deslocamentos horizontais (X, Y) e a rotação (Z) de todos os nós de um mesmo pavimento a um "nó mestre". Isso garante que o pavimento se mova como um

corpo rígido indeformável sob ação de forças laterais (TQS INFORMÁTICA, 2023).

Figura 2 - Pórtico do Sistema de Laje lisa no modelo IV



Fonte: Próprio do autor (2025)

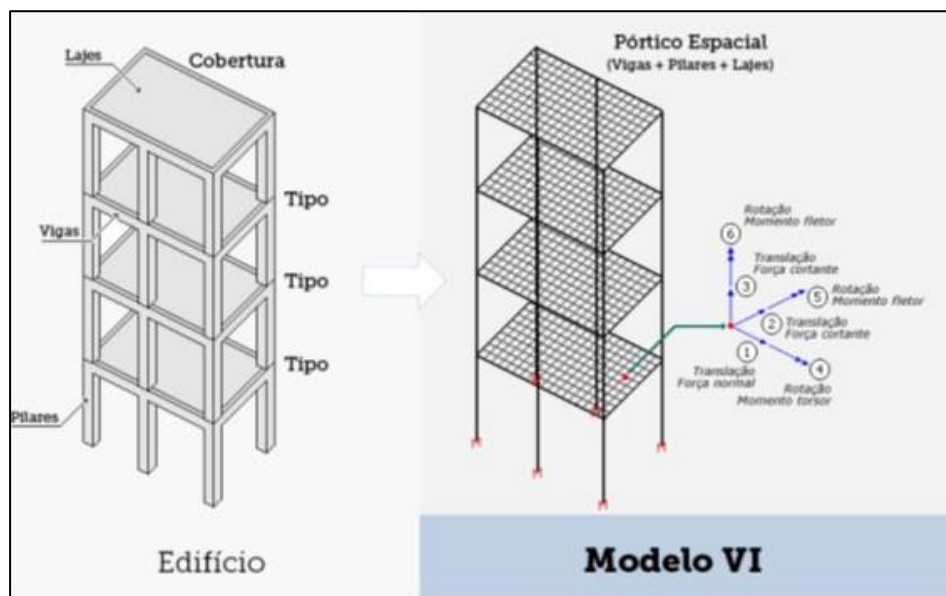
Embora esse modelo seja computacionalmente eficiente e produza resultados satisfatórios para estruturas convencionais (onde as vigas garantem o travamento), ele apresenta limitações conceituais. Ao separar a grelha do pórtico, despreza-se a rigidez transversal da laje na contribuição da estabilidade global, o que pode gerar imprecisões significativas em sistemas onde a laje é parte fundamental do sistema resistente a cargas horizontais.

2.4 MODELO VI (PÓRTICO E GRELHA INTEGRADOS)

Diferentemente da abordagem anterior, no modelo VI, os elementos estruturais são analisados de forma integrada, permitindo uma interação direta entre lajes, vigas

e pilares. Essa abordagem proporciona maior precisão nos resultados, especialmente em estruturas complexas, pois considera a redistribuição de esforços entre os elementos.

Figura 3 - Imagem Ilustrativa do Modelo VI

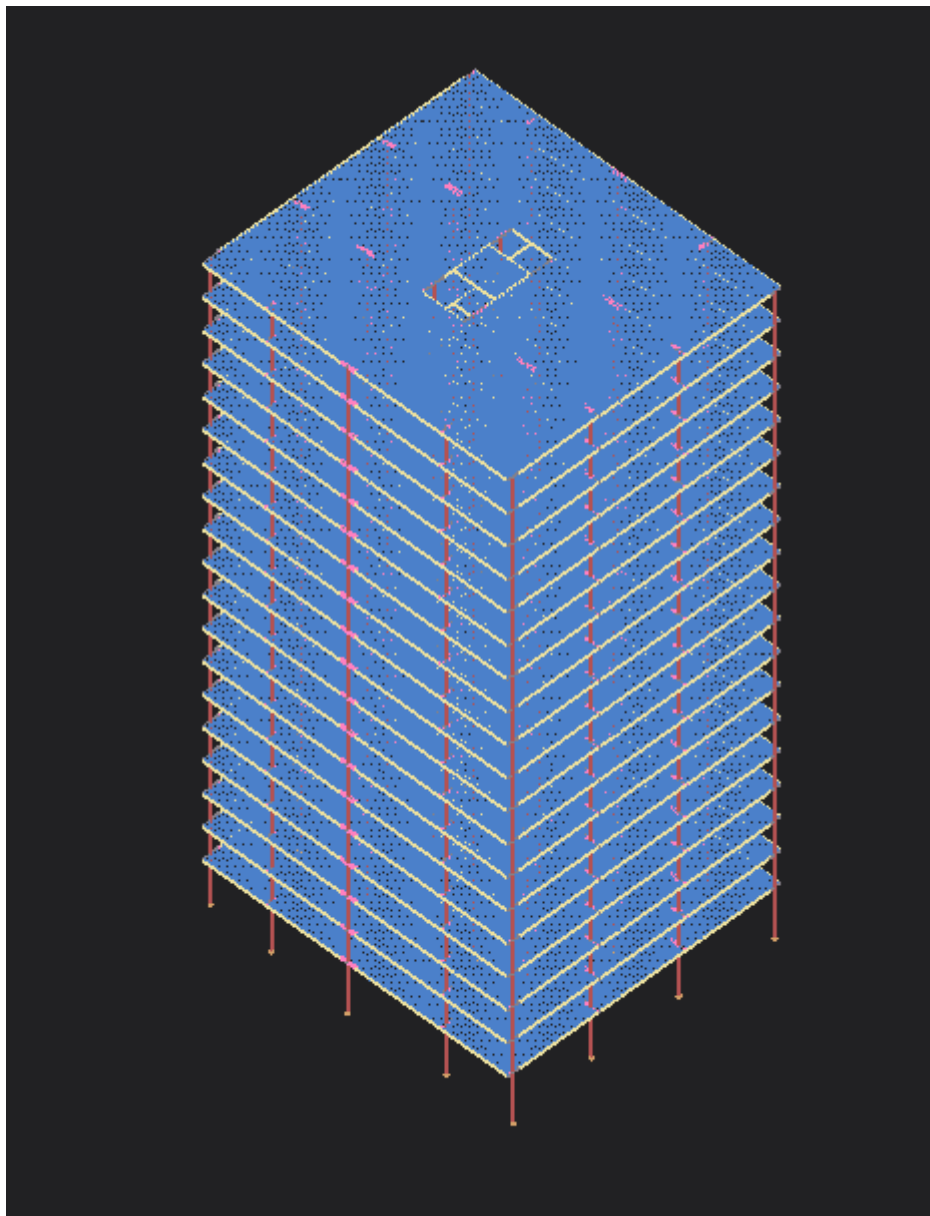


Fonte: TQS Informática

A literatura técnica demonstra que o Modelo VI apresenta melhor desempenho em sistemas sem vigas, pois considera a rigidez da laje como parte integrante do pórtico espacial (CARVALHO; PINHEIRO, 2013), em edifícios de múltiplos pavimentos, as lajes atuam como diafragmas rígidos (ou semi-rígidos) em seu plano, desempenhando papel fundamental na distribuição das ações horizontais do vento entre os pilares.

No Modelo VI, o tratamento do diafragma evolui de uma restrição cinemática para uma simulação física. A laje é discretizada e integrada à matriz global da estrutura, permitindo que ela apresente deformações em seu plano (diafragma flexível ou semirrígido) e fora dele.

Figura 4 – Pórtico do Sistema de Laje lisa no modelo VI



Fonte: Próprio do autor (2025)

Essa integração permite capturar o fenômeno da redistribuição de esforços. Segundo Zumaeta (2011), em estruturas de lajes lisas modeladas de forma integrada, a laje atua como um elemento de ligação capaz de transmitir momentos fletores entre os pilares. Isso ativa o "efeito de pórtico espacial", onde a rigidez do conjunto laje-pilar combate a instabilidade lateral.

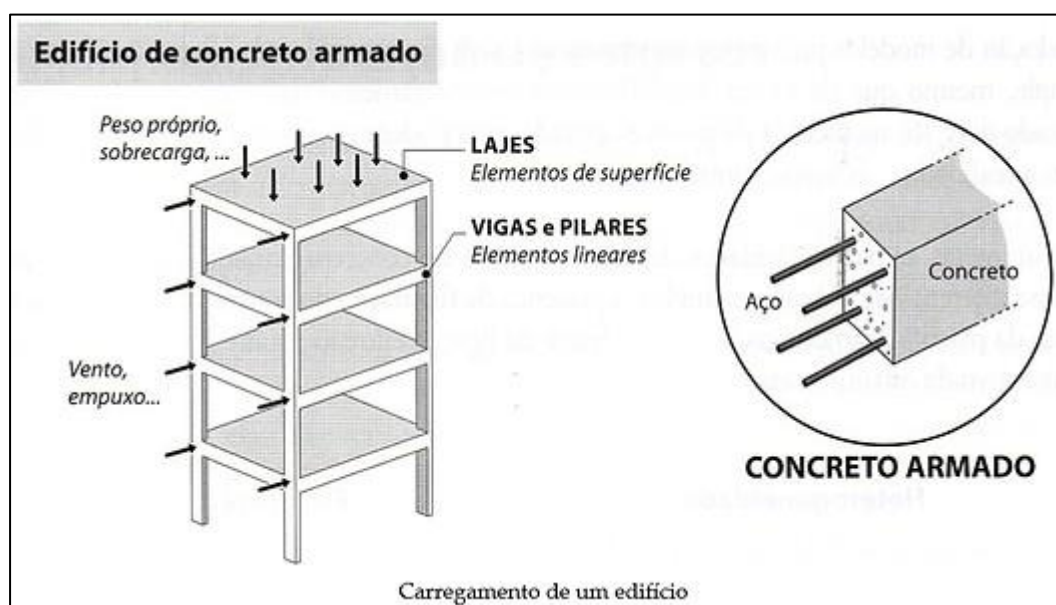
Enquanto modelos simplificados negligenciam essa interação, o Modelo VI captura o efeito de pórtico formado pelo conjunto laje-pilar. Isso resulta em uma

avaliação mais precisa da estabilidade global (gama-Z) e dos deslocamentos horizontais, pois considera a rigidez real à flexão da laje, e não apenas uma hipótese de diafragma simplificado (TQS INFORMÁTICA, 2023).

2.5 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

O sistema tradicional é caracterizado pela presença de pilares e vigas que transferem as cargas para as fundações, enquanto as lajes distribuem os carregamentos verticais para as vigas. É amplamente utilizado em edifícios de pequeno e médio porte devido à sua simplicidade construtiva.

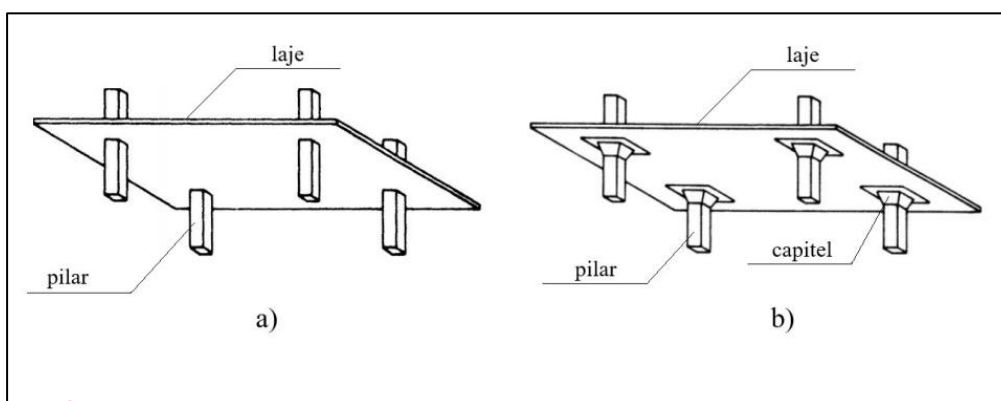
Figura 5 - Sistema construtivo tradicional



Fonte: Portal Concreto armado, Prof. Antônio Rolim

O sistema construtivo constituído por lajes lisas é composto por elementos horizontais sem vigas aparentes, apoiadas diretamente sobre os pilares. Esse sistema proporciona maior liberdade arquitetônica e distribuição de espaços, além de facilitar a execução e reduzir a altura total das estruturas.

Figura 6 - Laje lisa (a) e laje-cogumelo (b)

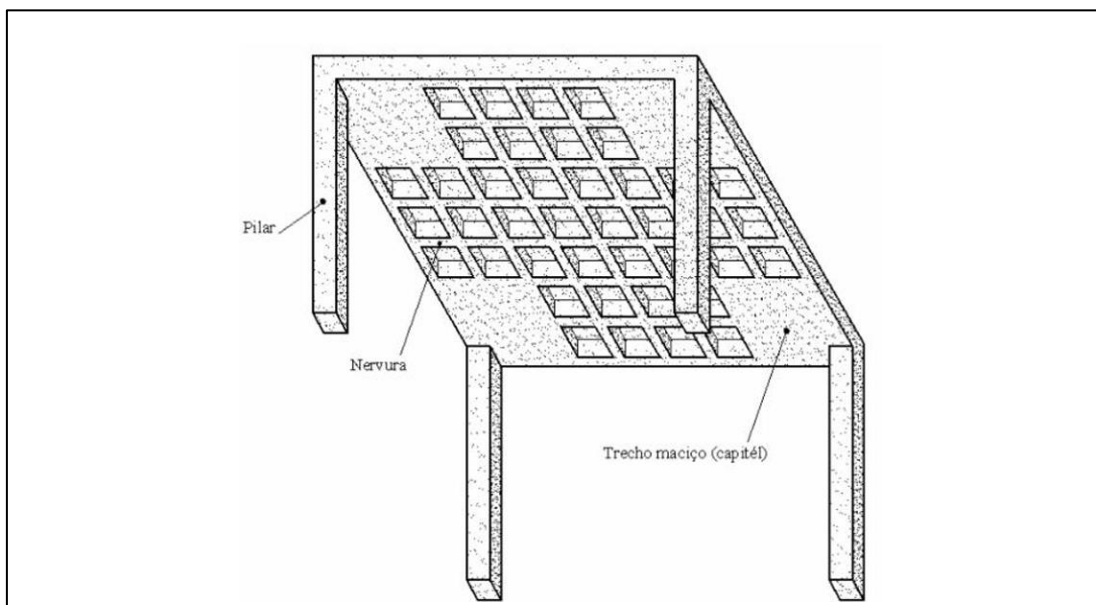


Fonte: NBR 6118 (2023)

As lajes lisas são mais utilizadas que as do tipo cogumelo devido à facilidade na execução das fôrmas e o resultado arquitetônico obtido. Este sistema surgiu para suprir necessidades nas edificações não alcançadas com o sistema convencional, tais como: redução do pé direito, economia nas fôrmas, vantagens nos projetos complementares, menor prazo de execução e maior versatilidade em termos de arquitetura e disposição dos ambientes (SILVA; CAMPOS FILHO; REAL, 2018).

E há também uma variação das lajes lisas, como as lajes lisas nervuradas, como ponto negativo na adoção de lajes lisas deve ser considerado o fenômeno da punção, este é observado em situações onde uma força age sobre a pequena área de uma placa provocando sua perfuração e levando à ruína da laje de forma abrupta e frágil. No caso das lajes sem vigas, há uma força cortante elevada concentrada na ligação da laje com o pilar, causando tensões de cisalhamento, podendo provocar a punção do elemento laje. Também deve-se analisar a transferência de momentos fletores da laje para os pilares, colaborando para o Fenômeno (CARVALHO; PINHEIRO, 2013).

Figura 7 – Laje lisa nervurada



Fonte: Donin (2007).

No contexto de lajes sem vigas (lajes lisas ou nervuradas), Carvalho e Pinheiro (2013) alertam que a rigidez à flexão da ligação laje-pilar e o comportamento de pórtico espacial são fundamentais para o controle da deslocabilidade horizontal. Modelos simplificados que negligenciam a rigidez do diafragma ou a interação espacial — como a análise de grelha isolada — tendem a não representar adequadamente o comportamento global, resultando em deslocamentos e efeitos de segunda ordem majorados incorretamente.

2.6 SISTEMA DE CONTRAVENTAMENTO

O sistema de contraventamento é constituído por um conjunto de elementos estruturais de elevada rigidez, tais como paredes de concreto armado, núcleos rígidos ou pórticos espaciais. A função primordial deste subsistema é absorver e resistir aos esforços horizontais provenientes de ações como o vento e o desaprumo, assegurando a estabilidade global da edificação e limitando os deslocamentos horizontais a valores aceitáveis normativamente.

No contexto do dimensionamento, edifícios submetidos a ações laterais exigem uma estrutura capaz de garantir simultaneamente a estabilidade elástica e a capacidade resistente. Esta capacidade refere-se à aptidão dos elementos em suportar os esforços solicitantes gerados pelas cargas horizontais, devendo o projeto

considerar as combinações de ações mais desfavoráveis para garantir a integridade global do edifício.

Sob essa ótica, os componentes da estrutura são classificados de acordo com sua função na estabilidade. Denominam-se elementos de contraventamento aqueles especificamente projetados e posicionados para resistir às ações laterais e prover rigidez ao conjunto. Por outro lado, os elementos contraventados são os demais componentes que, embora não participem significativamente da rigidez horizontal, devem ser dimensionados para suportar as cargas verticais e acompanhar os deslocamentos impostos pelo sistema de contraventamento sem sofrer colapso.

2.7 ESTABILIDADE DA ESTRUTURA

A estabilidade estrutural é um dos principais aspectos a serem analisados em projetos de engenharia, especialmente em relação às não-linearidades que podem influenciar no comportamento da estrutura sob cargas.

A verificação da estabilidade global é um requisito de grande importância na elaboração do projeto estrutural de um edifício de concreto armado ou protendido.

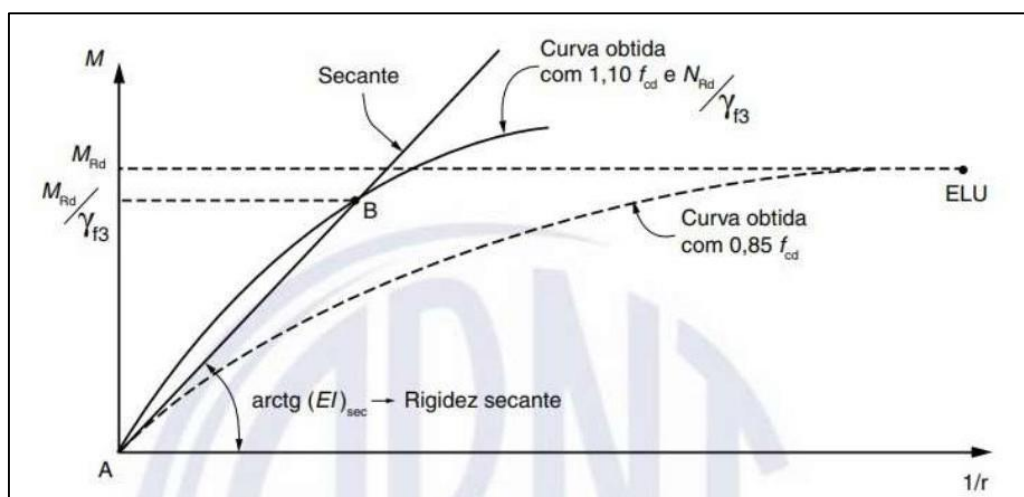
O atendimento à Estabilidade Global visa garantir a segurança da estrutura perante o Estado Limite Último, de forma que não haja instabilidade na estrutura completa quando submetida a todas as possíveis combinações.

2.8 NÃO LINEARIDADE FÍSICA (NLF)

A NLF está relacionada às propriedades dos materiais, como a fissuração e a fluência do concreto. Esses efeitos tornam o módulo de elasticidade do concreto variável, exigindo modelagem avançada ou o uso de coeficientes de redução da rigidez, conforme especificado na ABNT NBR 6118.

A consideração da Não-Linearidade Física (NLF) é essencial para simular o estado fissurado do concreto em serviço. Conforme explica Araújo (2014), a redução da rigidez à flexão dos elementos (EI_{sec}) altera a distribuição de esforços e amplia a deslocabilidade lateral. Portanto, a análise de estabilidade global via Gama-Z deve, obrigatoriamente, utilizar a rigidez secante dos materiais, sob pena de se subestimar os riscos de instabilidade em estruturas esbeltas.

Figura 8 – Relação Momento-Curvatura

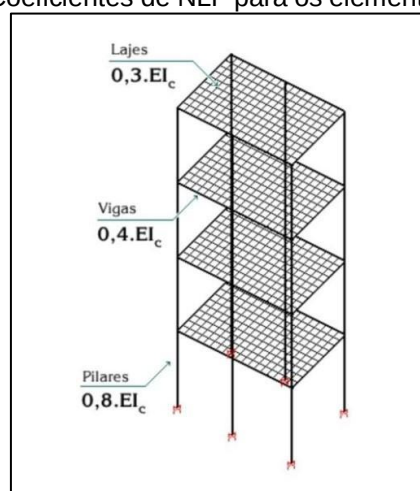


Fonte: ABNT NBR 6118 (2023)

A ABNT NBR 6118: 2023 prevê que seria inviável a consideração da não-linearidade física para análise dos esforços globais de 2ª ordem sem a utilização de um modelo computacional. Por isso sugere a aproximação através da adoção de coeficientes para minorar a rigidez dos elementos, sendo aplicado em estruturas reticuladas com no mínimo quatro pavimentos, conforme indicado nas Equações 1 (considerando elementos de laje), Equação 2 e 3 (considerando vigas) e Equação 4 (considerando pilares).

- Lajes: $(EI)_{\text{sec}} = 0,3 \times E_{ci} \times I_c$
- Vigas: $(EI)_{\text{sec}} = 0,4 \times E_{ci} \times I_c$, para $A_{s'} \neq A_s$
- $(EI)_{\text{sec}} = 0,5 \times E_{ci} \times I_c$, para $A_{s'} = A_s$
- Pilares: $(EI)_{\text{sec}} = 0,8 \times E_{ci} \times I_c$

Figura 9 – Coeficientes de NLF para os elementos estruturais



Fonte: TQS Informática

Onde:

- I_c é o momento de inércia da seção bruta de concreto;
- E_{ci} é o módulo de elasticidade tangente inicial do concreto.

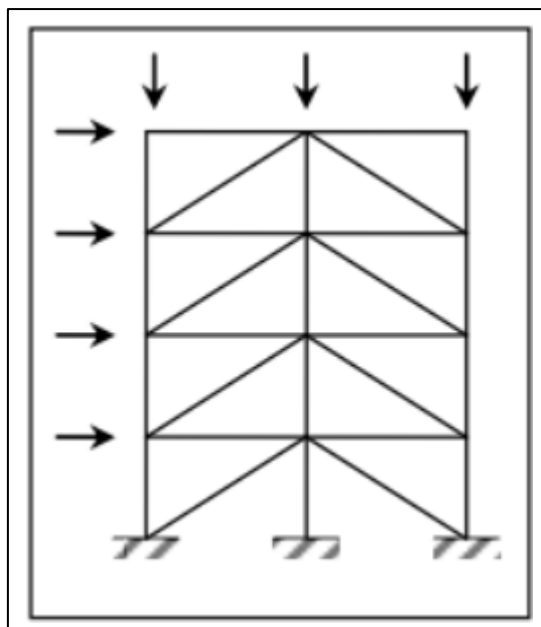
2.9 PARÂMETROS DE ESTABILIDADE

2.9.1 Estrutura de Nós Fixos

A classificação de estruturas como de nós fixos ou móveis é essencial para determinar a relevância dos efeitos globais de 2ª ordem. Estruturas de nós fixos apresentam deslocamentos horizontais reduzidos, enquanto as de nós móveis demandam maior rigor na análise.

Os esforços de segunda ordem globais são inferiores a 10% dos esforços de primeira ordem. Neste caso podemos desconsiderar os esforços de segunda ordem. O cálculo pode ser realizado considerando cada elemento comprimido isoladamente, como barra vinculada nas extremidades aos demais elementos estruturais que ali concorrem, onde se aplica os esforços obtidos pela análise da estrutura efetuada segundo a teoria de 1ª ordem.

Figura 10 – Estruturas de nós fixos



Fonte: TQS Informática (adaptado pelo autor)

Sob a ação de forças horizontais, a estrutura é sempre calculada como

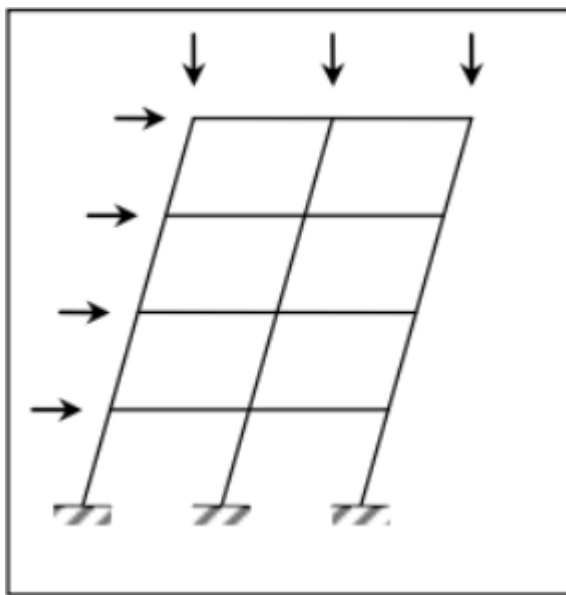
deslocável. O fato de a estrutura ser classificada como sendo de nós fixos dispensa apenas a consideração dos esforços globais de 2ª ordem.

2.9.2 Estrutura de Nós Móveis

Os esforços de segunda ordem superiores a 10%, sendo preciso levar em consideração os esforços de segunda ordem. Nessas estruturas, basta considerar os efeitos locais e localizados de 2ª ordem.

Devem ser obrigatoriamente considerados os efeitos da não-linearidade geométrica e da não-linearidade física e, portanto, no dimensionamento devem ser obrigatoriamente considerados os efeitos globais e locais de 2ª ordem. Todavia, há estruturas em que os deslocamentos horizontais são grandes e que, não obstante, dispensam a consideração dos efeitos de 2ª ordem por serem pequenas as forças normais e, portanto, pequenos os acréscimos dos deslocamentos produzidos por elas.

Figura 11 – Estrutura de nós móveis



Fonte: TQS Informática (Adaptado pelo autor)

Sendo assim, nos casos em que os deslocamentos horizontais representam mais de 10% dos esforços de 1ª ordem ($\gamma_z \geq 1,1$), há a ocorrência de efeitos de 2ª ordem globais que devem ser considerados. Neste tipo de estrutura são analisados efeitos globais, locais e localizados de segunda ordem. Os efeitos da não-linearidade física e geométrica devem ser obrigatoriamente considerados (ABNT, 2023).

Assim, dentro da estrutura global é possível identificar o uso de estruturas de contraventamento, consideradas subestruturas de grande rigidez a ações horizontais que fazem o trabalho de resistir aos esforços. A estrutura de contraventamento também é classificada como de nós fixos ou nós móveis (ABNT, 2023).

2.10 PARÂMETRO DE INSTABILIDADE ALFA

O parâmetro de instabilidade α foi um dos primeiros indicadores introduzidos pela ABNT NBR 6118 para classificar a estrutura quanto à sua deslocabilidade. Ele avalia a rigidez da edificação comparando sua altura total, a carga vertical atuante e a rigidez à flexão dos pilares, conforme a equação:

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{\frac{N_k}{E_c I_c}}$$

Onde: $\alpha_1 = 0,2 + 0,1n$ se: $n \leq 3$

- $\alpha_1 = 0,6$ se: $n \geq 4$

Sendo:

- α - o parâmetro de instabilidade;
- N - o número de andares acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;
- H_{tot} - a altura total da estrutura, medida a partir da fundação ou de um nível pouco Deslocável do subsolo;
- N_k - o somatório do valor característico de todas as cargas verticais atuantes na estrutura a partir do nível considerado para H_{tot} ;
- $E_c I_c$ - o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. Em Situações de estruturas com pórticos, treliças, ou mistas, ou com pilares de rigidez variável ao longo da altura, adota-se um pilar equivalente de seção constante;
- I_c - calculado a partir da seção bruta dos pilares

Sendo assim, a estrutura é classificada como nós fixos se α for menor que α_1 e classificada como nós móveis quando α for maior.

A norma técnica ABNT NBR 6118: 2023 indica o uso do valor limite $\alpha_1 = 0,6$ para associações de pilares-parede e de pórticos com pilares-parede. Quando o contraventamento for formado apenas por pilares-parede, utilizar $\alpha_1 = 0,7$ e quando

for apenas por pórticos, $\alpha_1 = 0,5$.

Embora ainda conste na norma, o parâmetro α possui limitações importantes para a análise moderna. Segundo Kimura (2018), ele considera a estrutura como um pilar equivalente engastado na base, ignorando a variação de rigidez ao longo da altura e a contribuição de vigas e lajes no travamento.

No contexto deste trabalho, o alfa serve apenas como referência comparativa preliminar. Em edifícios de lajes lisas modelados no TQS, sua precisão é ainda menor, pois a fórmula simplificada não consegue capturar o efeito de pórtico espacial formado pela interação laje-pilar, tornando necessária a avaliação via coeficiente gama-Z.

2.11 GAMA Z

Araújo (2010) destaca que a precisão do gama-Z depende diretamente da correta consideração da rigidez dos elementos estruturais. Em edifícios onde a estabilidade depende de pórticos formados por lajes e pilares — como no sistema de lajes lisas — a subestimação da rigidez pode levar a valores de Gama-Z excessivamente conservadores, encarecendo a estrutura sem necessidade técnica real.

$$Y_Z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

Onde:

- $M_{tot,d}$: é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.
- $M_{1tot,d}$: é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura.

Aqui reside a importância da comparação entre os Modelos IV e VI. Conforme destaca Zimmer (2020), em estruturas de lajes lisas, o Modelo IV tende a ignorar a

rigidez transversal da laje, resultando em deslocamentos maiores e, conseqüentemente, um gama-Z elevado. Já o Modelo VI, ao integrar a laje no pórtico, mobiliza uma rigidez adicional que reduz os deslocamentos e o valor final de gama-Z, podendo ser o fator determinante para classificar a estrutura como estável ou instável.

2.12 COEFICIENTE FAVt

O coeficiente $FAVt$ (Fator de amplificação de esforços horizontais ou de vento) também pode ser considerado um parâmetro que avalia a estabilidade global. Bueno (2009) estudou esse parâmetro, porém chamando-o de $\gamma\gamma'z$. Comparou seus resultados com os do processo P- Δ e encontrou valores satisfatórios, mas concluiu que para esse parâmetro ser consolidado como parâmetro de estabilidade são necessários mais estudos. Além dessa função ele pode ser utilizado como estimador dos esforços de segunda ordem, similar ao gama-Z.

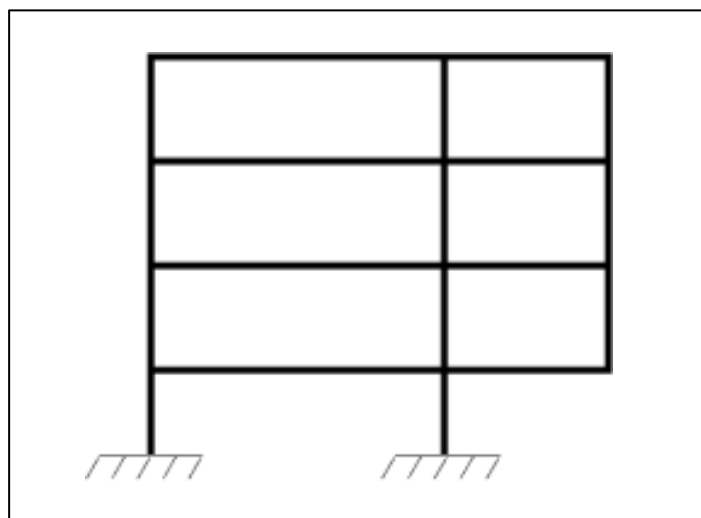
Segundo Zumaeta (2016) esse coeficiente $FAVt$ é exclusivo do Sistema CAD/TQS. É calculado utilizando-se exatamente a mesma formulação do coeficiente gama-Z. A diferença é que os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais são considerados, ou seja, a única parcela que é calculada de uma maneira diferente em relação ao gama-Z é o $\Delta M_{tot,d}$ (esforços de segunda ordem).

Portanto a formulação do $FAVt$ é a seguinte:

$$FAVt = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M1,tot,d}}$$

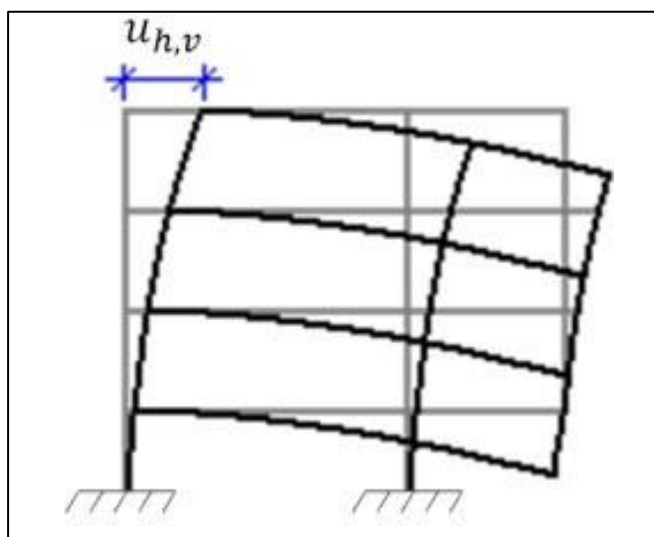
Tais deslocamentos são provenientes do fato da estrutura não ser simétrica (caso mais geral), por exemplo, um edifício, com varandas. Essas varandas constituem balanços que geram um momento em cada piso, o que provoca o deslocamento horizontal devido às cargas verticais.

Figura 12 – Estrutura não simétrica



Fonte: Zumaeta (2016)

Figura 13 - Deslocamento horizontal devido à carga vertical.

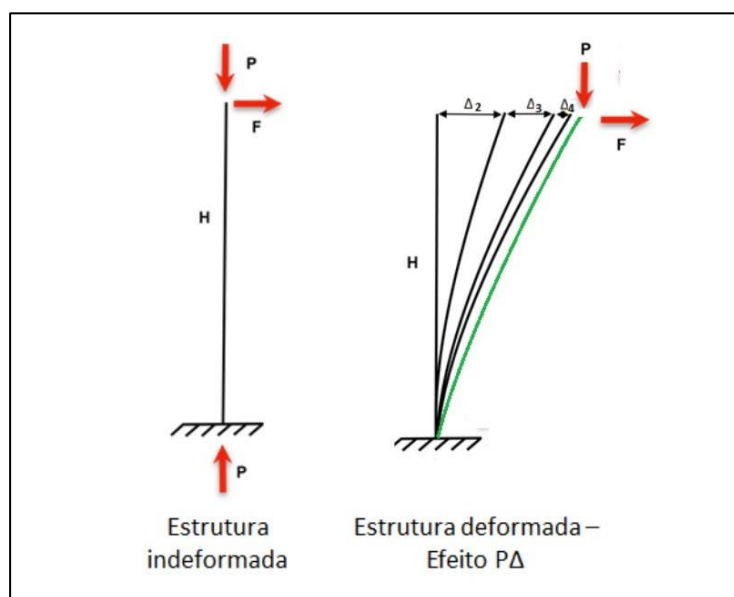


Fonte: Zumaeta (2016)

2.13 P-DELTA E RELAÇÃO RM2RM1

O efeito P-Delta ocorre em função do deslocamento da estrutura sob carregamentos verticais, gerando momentos adicionais devido à interação com as cargas horizontais. É fundamental na análise de estabilidade para garantir a segurança estrutural.

Figura 14 – P-Delta e processo incremental



Fonte: ABNT NBR 6118: 2023 (adaptado pelo autor)

Também conhecido por P-Delta iterativo, o Método da Carga Lateral Fictícia de acordo com a TQS Informática, o software realiza a análise de 1ª ordem na estrutura e inicia as iterações até a obtenção do ponto de equilíbrio. Cada uma das iterações gera uma nova força lateral fictícia (F_{f1}) para representar o momento de 2ª ordem gerado pela carga vertical na edificação, por sua vez, esta força fictícia gera um novo deslocamento (Δ_1), exigindo um novo cálculo de momento. Este processo é repetido até que o erro entre o momento calculado na iteração seja irrisório em relação à iteração anterior (LIMA, 2001; MONCAYO, 2011).

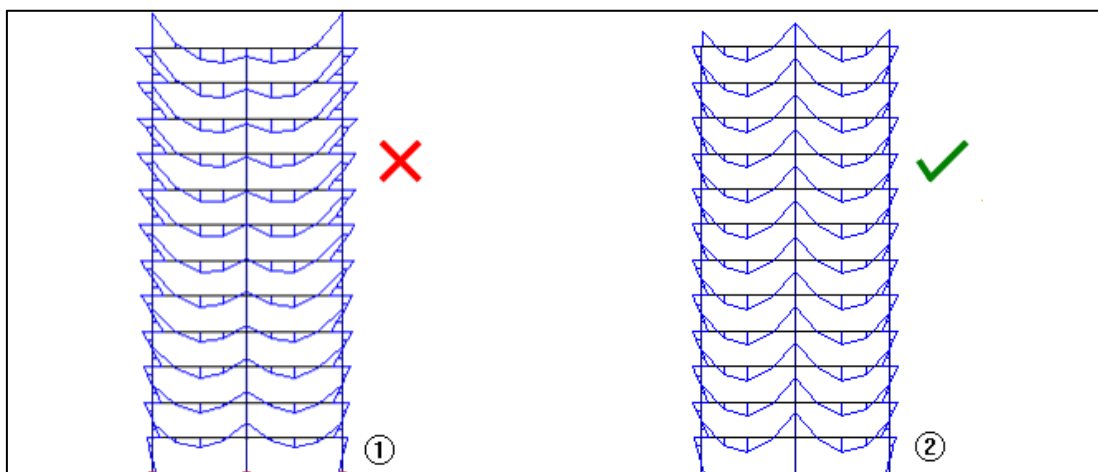
Para além das metodologias aproximadas, que estimam os efeitos globais de 2ª ordem através de majoradores simplificados (como a multiplicação por 0,95 gamaZ), os sistemas TQS utilizam uma análise não linear geométrica refinada, denominada apenas como 'P-Delta'. Desenvolvido pelo Eng. Sérgio Pinheiro Medeiros, este processo numérico busca o equilíbrio final da estrutura de maneira iterativa, realizando correções sucessivas na matriz de rigidez geométrica (K_g) para capturar os esforços adicionais gerados pelas deformações da estrutura.

No entanto, a aplicação deste método enfrenta o desafio da simulação dos efeitos construtivos. Em uma obra real, o carregamento é gradual e os pilares se nivelam a cada pavimento; já na simulação computacional tradicional, o carregamento

é instantâneo, gerando encurtamentos diferenciais nos pilares e esforços irreais nos elementos horizontais. Para mitigar isso, usualmente majora-se a rigidez axial dos pilares (critério $MULAXI > 1$) para cargas verticais. No entanto, a TQS Informática (2025) alerta que essa majoração não deve ser aplicada às cargas horizontais (vento), sob pena de reduzir a segurança da estrutura, criando um dilema de rigidez no cálculo conjunto.

Como solução inédita, o software implementou o processo 'P-Delta em dois passos'. No primeiro passo, realiza-se uma análise linear apenas com cargas verticais e rigidez dos pilares majorada, armazenando-se a distribuição de forças normais. No segundo passo, executa-se a análise não linear iterativa apenas com cargas horizontais e rigidez real (sem majoração), utilizando a matriz de rigidez geométrica derivada do passo anterior. O resultado final é a superposição dos dois estágios, garantindo a consideração correta dos efeitos construtivos sem comprometer a análise de vento.

Figura 15 – Pórtico com consideração de efeitos construtivos



Fonte: TQS INFORMÁTICA (2019)

Por fim, ressalta-se que, diferentemente do método aproximado que fornece o coeficiente γ_{m2} como parâmetro de instabilidade, a análise P-Delta fornece diretamente os esforços finais precisos, mas não um índice único de estabilidade. Conforme define a TQS Informática (2025), para suprir essa lacuna, utiliza-se o coeficiente RM_2/M_1 . De forma análoga ao γ_{m2} , este índice relaciona o momento das forças horizontais (M_1) com o momento de 2ª ordem gerado pelas cargas verticais

deslocadas (M_2), permitindo estimar a magnitude dos efeitos globais de segunda ordem em cada combinação ELU.

$$RM2M1 = 1 + \frac{M2}{M1}$$

Onde:

- M_1 - é o momento das forças horizontais em relação à base do edifício;
- M_2 - é a somatória das forças verticais multiplicadas pelo deslocamento dos nós da estrutura sob ação das forças horizontais, resultante do cálculo de P- Δ em uma combinação não-linear.

Esses valores são calculados para cada combinação ELU e podem ser visualizados no relatório de parâmetros de estabilidade global.

Com os valores de $RM2M1$ calculados para cada combinação ELU, é possível obter uma estimativa da magnitude dos efeitos de 2ª ordem perante os efeitos de 1ª ordem, de forma similar ao coeficiente gama-Z.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia deste trabalho foi estruturada para atender aos objetivos propostos e oferecer uma análise aprofundada das diferenças entre os modelos estruturais IV e VI no software CAD/TQS.

3.1 MODALIDADE DE PESQUISA

O método de pesquisa adotado foi o dedutivo, que parte de princípios gerais, amplamente aceitos e fundamentados em normas e literatura técnica, para analisar casos particulares. Esse método permite o desenvolvimento de raciocínios lógicos, essenciais em campos como a engenharia estrutural, onde os conceitos trabalhados estão embasados em leis e diretrizes normativas (GIL, 2008).

O objetivo principal é explicar como as escolhas de modelagem influenciam a análise de estabilidade global, eficiência estrutural e entender para quais modelos estruturais valem a pena a adoção ou não de um modelo mais robusto.

Quanto à natureza dos dados, a pesquisa adota uma abordagem quantitativa, e qualitativa pois se baseia em resultados numéricos provenientes de simulações

computacionais e análise de coeficientes de estabilidade global utilizada para interpretar fenômenos relacionados ao comportamento estrutural de sistemas com lajes lisas e sistemas convencionais.

O software utilizado para coleta de dados e análise das situações em estudo é o CAD/TQS, sendo esta pesquisa feita através de uma análise de dados a partir dos resultados obtidos nos parâmetros de estabilidade global de cada modelo e comparando os resumos quantitativos de cada um.

Ambos os Sistemas serão trabalhados nos 2 modelos de cálculos, e assim, serão feitas as observações sobre os resultados obtidos.

O tipo de abordagem utilizado foi o método descritivo, que tem como objetivo estabelecer relações entre as variáveis estudadas, como o impacto do tipo de modelo estrutural na estabilidade global. A pesquisa descritiva é particularmente útil para caracterizar fenômenos de interesse e sistematizar informações relevantes para a prática profissional (MARCONI; LAKATOS, 2018).

3.2 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS

Para a concepção do presente estudo, optou-se pelo software CAD/TQS por ser considerado uma ferramenta difundida, amplamente aceita e em constante atualização para o desenvolvimento de projetos estruturais, sendo utilizada a versão v25 para a realização do presente trabalho.

Os quatro exemplos processados para a realização deste estudo estão descritos e numerados conforme informações do Quadro 1, os edifícios hipotéticos utilizados para a coleta de dados possuem sistema estrutural distinto: dois modelos utilizando o sistema convencional de pilares, vigas e lajes, e dois, utilizando o sistema de lajes lisas. A identificação dos exemplos se refere ao sistema construtivo e modelo estrutural do CAD/TQS adotados e foi utilizada para nomeação dos exemplos ao longo do texto.

A identificação dos exemplos segue uma nomenclatura padronizada que referência o sistema construtivo adotado e o modelo de cálculo empregado, facilitando a correlação dos dados ao longo da discussão. O modelo estrutural selecionado no software define a matriz de rigidez da estrutura e a forma como os esforços horizontais são distribuídos, sendo essa a variável central da presente investigação.

Tabela 1 - Edifícios desenvolvidos

Número do Edifício	Identificação	Sistema Estrutural	Modelo Estrutural
1	TCC-M1-LISA-IV	Laje Lisa	IV
2	TCC-M2-LISA-VI	Laje Lisa	VI
3	TCC-M3-CONV-IV	Convencional	IV
4	TCC-M4-CONV-VI	Convencional	VI

Fonte: Autor (2025)

A partir do desenvolvimento dos exemplos supracitados, foi possível executar a análise computacional da estabilidade global das estruturas sob ação dos carregamentos. Em seguida ocorreu a etapa de interpretação dos resultados fornecidos pelo software CAD/TQS, nesta foram comparados dados numéricos referentes ao coeficiente γ_z para as diferentes configurações de estruturas, verificando a influência do comportamento de estabilidade global destes modelos.

3.3 MODELOS DO ESTUDO DE CASO

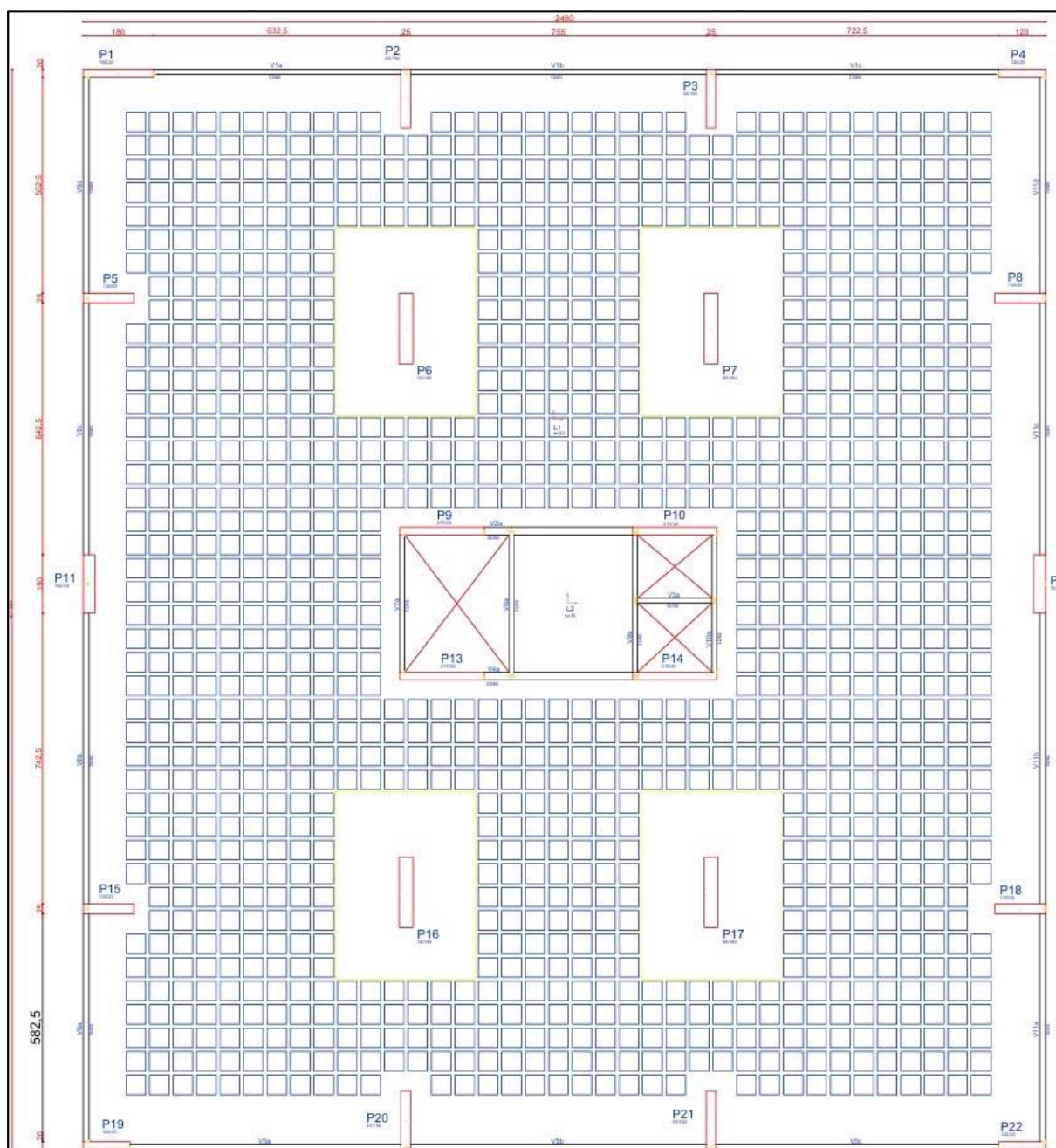
O primeiro passo para o desenvolvimento dos modelos foi a adoção da planta baixa tipo. Com o objetivo de favorecer a análise de resultados entre as categorias de edifícios simulados, empregou-se um único layout de planta baixa padrão.

A seguir serão apresentados os 2 tipos de modelos definidos para a realização da pesquisa bem como os resultados individuais dos parâmetros analisados em cada um deles.

3.3.1 Modelo IV e Modelo VI de Laje Lisa

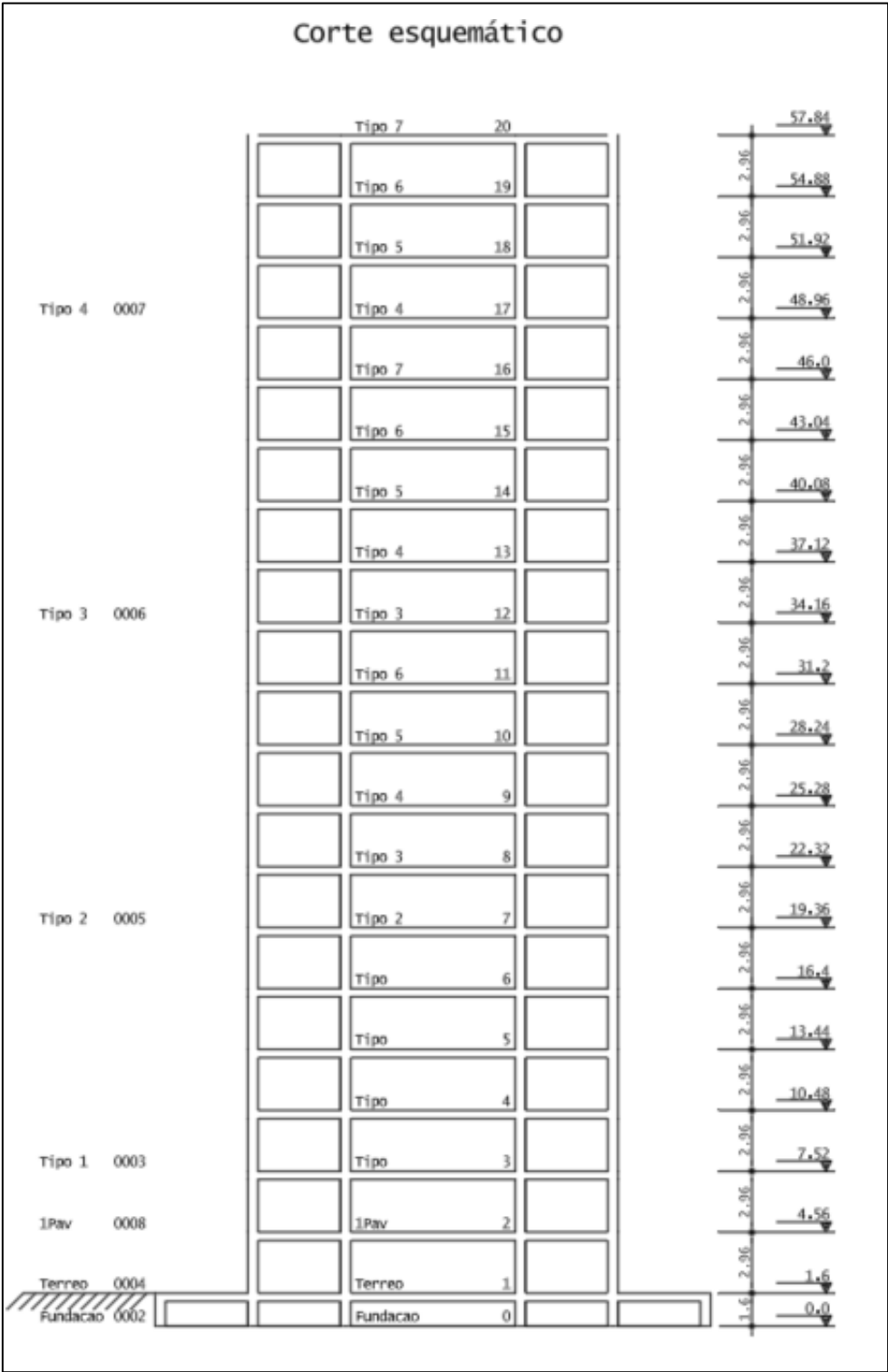
Este primeiro modelo estrutural conta com o pavimento de formato retangular, com 19 pavimentos tipo com 2,96m de pé direito, totalizando 57,84m de altura, com comprimento de 24,60m e largura de 27,60m, para o sistema considerado lajes lisas. A Figura 16 e Figura 17 exibem os layouts e corte adotados para cada um dos modelos estruturais.

Figura 16 - Planta de forma do modelo de laje lisa



Fonte: Próprio do autor (2025).

Figura 17 - Corte Esquemático do modelo de laje lisa



Fonte: Próprio do autor (2025).

A tabela abaixo demonstra a identificação dos pilares e lajes, assim como duas

dimensões no modelo.

Tabela 2 - Dimensões dos elementos para o modelo de laje lisa

SISTEMA DE LAJE LISA			
Identificação	Tipo / Localização	Seção Transversal (cm)	Qtd.
P1, P4	Pilares de Canto (Sup)	20 X 180	2
P19, P22	Pilares de Canto (Inf)	20 X 120	2
P2, P3, P20, P21	Extremidade (Sup/Inf)	25 X 150	4
P5, P8, P15, P18	Extremidade (Laterais)	25 X 130	4
P11, P12	Extremidade (Laterais)	30 X 150	2
P6, P7, P16, P17	Pilares Centrais	35 X 180	4
P9, P10, P13, P14	Núcleo Rígido (Elevadores)	20 X 215	4
Total			22

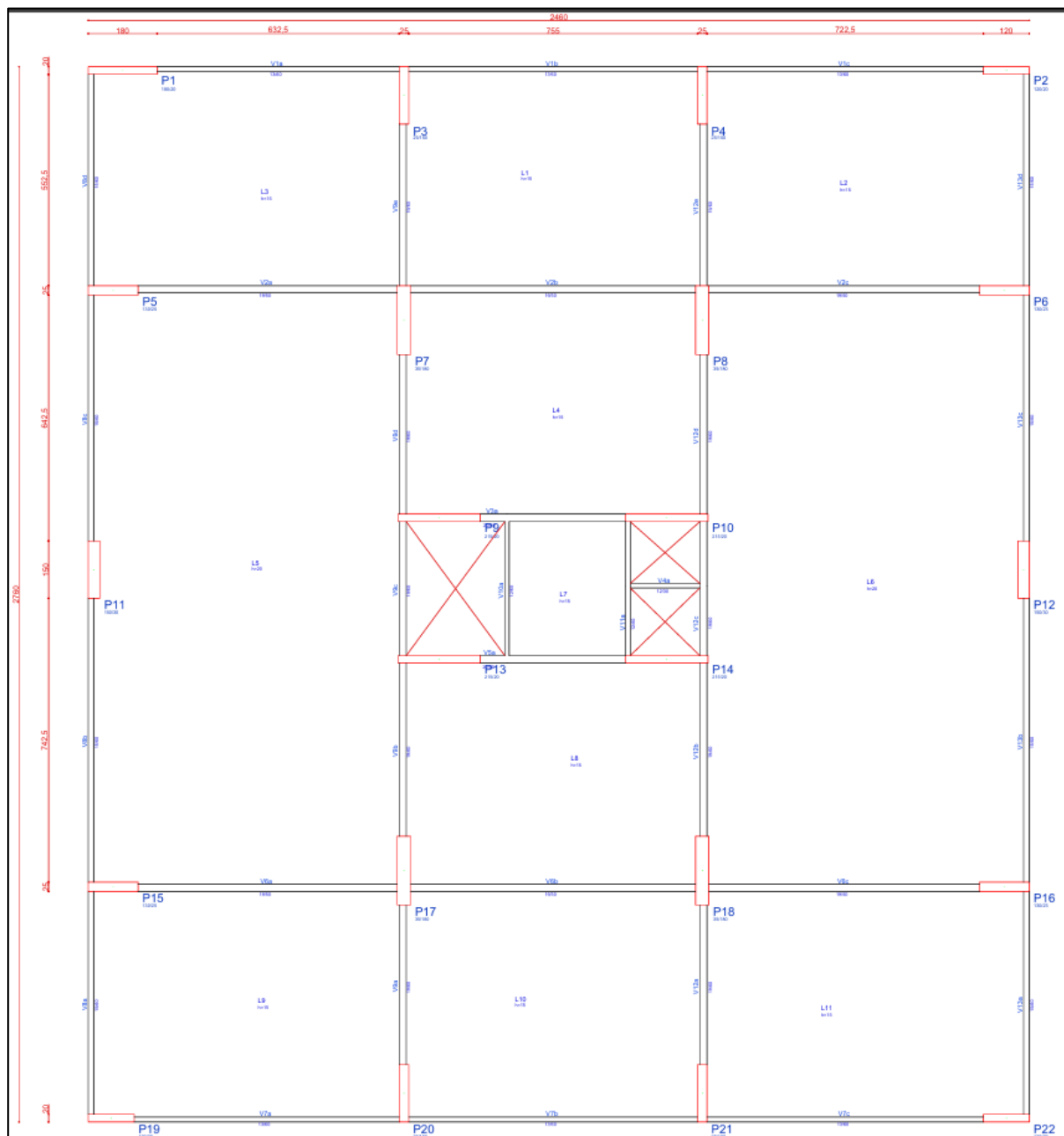
L1	LAJE NERVURADA	23	1
L2	LAJE MACIÇA (ELEVADOR)	15	1
Total			2

Fonte: Próprio do autor (2025).

3.3.2 Modelo IV e Modelo VI - Convencional

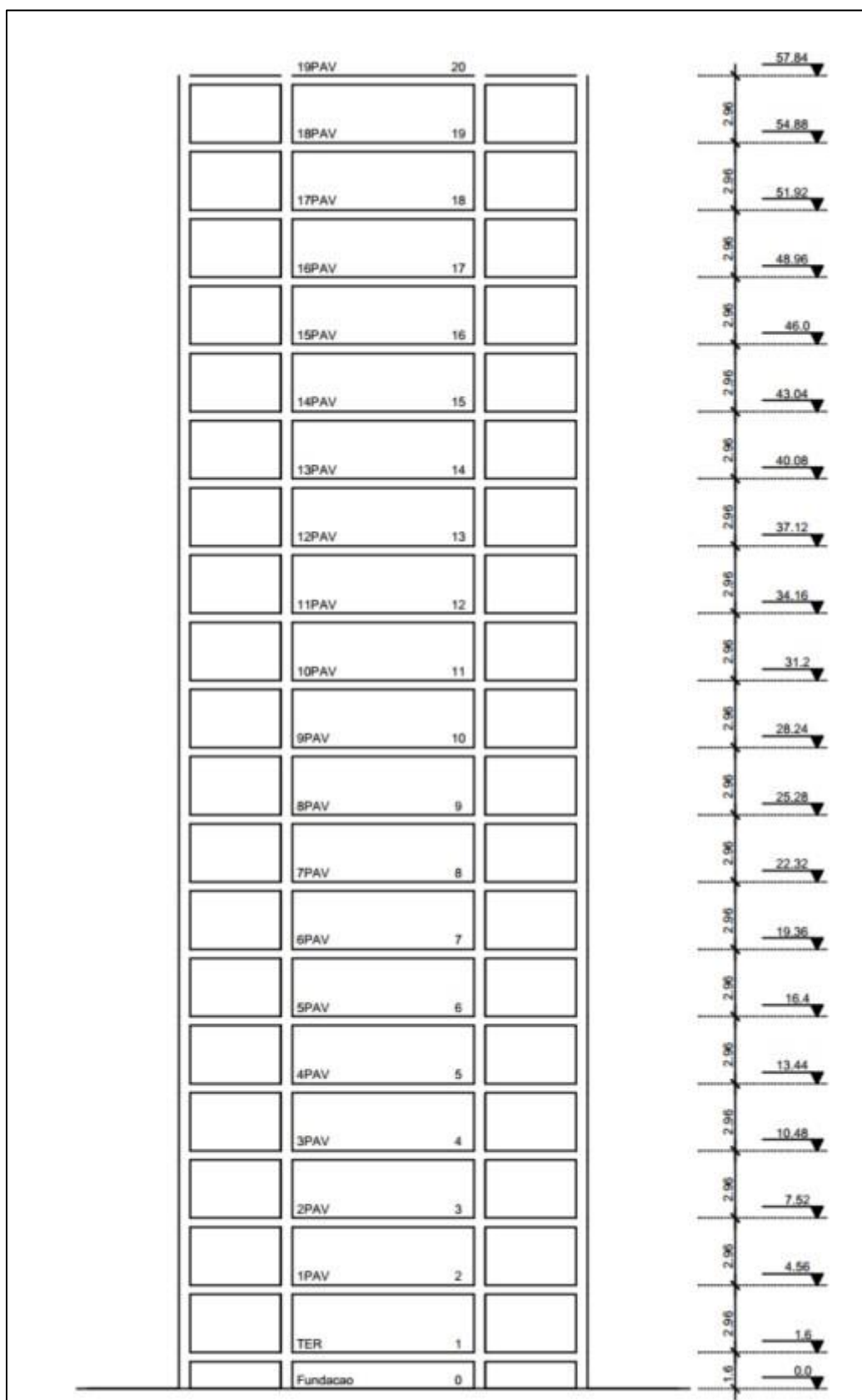
Este segundo modelo estrutural conta com o pavimento de formato retangular, com 19 pavimentos tipo totalizando 57,84m de altura, com comprimento de 24,60m e largura de 27,60m possui duas configurações, para o sistema considerado lajes lisas. A Figura 18 e Figura 19 exibem os layouts e corte adotados para cada um dos modelos estruturais.

Figura 18 - Planta de forma do modelo convencional



Fonte: Próprio do autor, 2025

Figura 19 - Corte Esquemático do modelo convencional.



Fonte: Próprio do autor, 2025

Tabela 3 – Dimensões dos elementos para o modelo convencional

SISTEMA CONVENCIONAL			
Identificação	Tipo / Localização	Seção Transversal (cm)	Qtd.
P1, P4	Pilares de Canto (Sup)	20 X 180	2
P19, P22	Pilares de Canto (Inf)	20 X 120	2
P2, P3, P20, P21	Extremidade (Sup/Inf)	25 X 150	4
P5, P8, P15, P18	Extremidade (Laterais)	25 X 130	4
P11, P12	Extremidade (Laterais)	30 X 150	2
P6, P7, P16, P17	Pilares Centrais	35 X 180	4
P9, P10, P13, P14	Núcleo Rígido (Elevadores)	20 X 215	4
Total			22

L1 À L11	LAJE MACIÇA	15	11
Total			11

Fonte: Próprio do autor, 2025

O desenvolvimento dos modelos exigiu adaptações conforme a altura do edifício e sistema construtivo. Assumiu-se como procedimento padrão na modelagem dos exemplos o processamento global do Modelo VI de cada caso, para então, duplicar o modelo e processar com o Modelo IV.

Embora o detalhamento de armadura não seja o foco deste estudo, os quatro modelos foram processados considerando a análise de esforços e o detalhamento de armaduras do CAD/TQS.

O dimensionamento da fundação não foi realizado em nenhum dos modelos. Elementos inclinados, como escadas, também não foram contemplados pelo fato de não apresentarem relevância na análise global.

3.4 MATERIAIS

Na seleção de materiais para os modelos processados adotou-se concreto de f_{ck} 40 MPa para todos os modelos. A classe de agressividade atribuída é a II, moderada, referente ao ambiente urbano de pequeno risco de deterioração do concreto armado. Parâmetros de cobrimento seguiram o recomendado por norma (ABNT, 2023).

3.5 CARGAS VERTICAIS

No editor de dados do edifício do CAD/TQS, mantiveram-se os critérios padrões para cargas verticais, sem a inserção de carregamentos extras concentrados ou lineares não previstos no modelo base.

No desenvolvimento do modelo estrutural, através da função “Modelador Estrutural”, foram atribuídas as cargas distribuídas superficiais sobre as lajes e vigas, seguindo as diretrizes do exemplo prático do manual do software (TQS INFORMÁTICA LTDA, 2019). Definiu-se:

- Carga Permanente ($0,15 \text{ tf/m}^2$): Adotada para representar o peso próprio dos elementos de acabamento, englobando contrapiso, revestimentos de piso e forro de gesso/reboco;
- Carga Acidental ($0,25 \text{ tf/m}^2$): Atribuída para simular a sobrecarga de utilização (pessoas, mobiliário e equipamentos) no pavimento tipo.

Ressalta-se que, embora os valores sigam o tutorial de referência para fins de calibração do modelo, eles são compatíveis com as magnitudes de carregamento previstas na ABNT NBR 6120 para edificações de uso comercial ou residencial com áreas comuns, mantendo valores fixos em todo o edifício, garantindo que a estrutura seja submetida a esforços solicitantes coerentes com a realidade de projeto."

3.6 CARGAS HORIZONTAIS

O carregamento de vento segue premissas da ABNT NBR 6123: 2023, sendo adotado velocidade básica (V_0) de 35m/s. O fator do terreno (S_1), fator topográfico, foi atribuído como sendo 1. A categoria de rugosidade (S_2) foi adotada como categoria IV, relativa à terrenos com obstáculos numerosos e pouco espaçados, como zona florestal, industrial, urbanizada, parques e subúrbios densos. A classe da edificação (S_2) foi identificada como C para os modelos, se referindo à altura do edifício de 54,87m para ambos os modelos. Por fim, o fator estático ficou mantido como sendo 1. O coeficiente de arrasto (C_a) para cada caso de vento pode ser inserido manualmente ou pode ser calculado pelo CAD/TQS. Para a determinação dos coeficientes foi adotada situação de vento de alta turbulência, considerada para edificações onde a altura não excede duas vezes a altura média das edificações vizinhas, conforme ABNT NBR 6123.

Figura 20 – Parâmetros de Vento para o Modelo de Laje Lisa

GeraisModeloPavimentosMateriaisCobrimentosCargasCritériosGerenciamento

VerticaisVentoAdicionaisAdicionais-2Combinações

V0 - Velocidade básica35m/s

S1 - Fator do terreno1.00

S2 - Categoria de rugosidadeIV

S2 - Classe da edificaçãoC

S3 - Fator estatístico1.00

	Ângulo	C.A.	Def Cot	Cot ini
1	90	1.22	Não	0
2	270	1.22	Não	0
3	0	1.23	Não	0
4	180	1.23	Não	0

Cota inicial para aplicação de vento

InserirApagarCalcular CAs

☐ Excentricidade em todos os casos15.0%

☐ Casos de vento nas plantas de formas

90°

180°

0°

270°

Ângulo de incidência de vento

Avançado...

Tabelas de excentricidades e forças impostas

Excentricidades do caso selecionado

Ler tabelas de túnel de vento - planilha SDF

Ler tabelas de túnel de vento - FTV XML

Forneça as variáveis para cálculo de vento conforme a norma ou especifique valores especiais ou de ensaio no item "Excentricidades".

Fonte: Próprio do autor, 2025

Desta maneira, para os edifícios com laje lisa, foram adotados os coeficientes de arrasto de vento conforme indicado na figura 18 acima, Ca de 1,22 para vento a 90° e 270°, e, 1,23 para vento a 0° e 180°.

Figura 21 – Parâmetros de Vento para o Modelo Convencional

GeraisModeloPavimentosMateriaisCobrimentosCargasCritériosGerenciamento

VerticaisVentoAdicionaisAdicionais-2Combinações

V0 - Velocidade básica35m/s

S1 - Fator do terreno1.00

S2 - Categoria de rugosidadeIV

S2 - Classe da edificaçãoC

S3 - Fator estatístico1.00

	Ângulo	C.A.	Def Cot	Cot ini
1	90	1.25	Não	0
2	270	1.25	Não	0
3	0	1.31	Não	0
4	180	1.31	Não	0

Cota inicial para aplicação de vento

InserirApagarCalcular CAs

☐ Excentricidade em todos os casos15.0%

☐ Casos de vento nas plantas de formas

90°

180°

0°

270°

Ângulo de incidência de vento

Avançado...

Tabelas de excentricidades e forças impostas

Excentricidades do caso selecionado

Ler tabelas de túnel de vento - planilha SDF

Ler tabelas de túnel de vento - FTV XML

Forneça as variáveis para cálculo de vento conforme a norma ou especifique valores especiais ou de ensaio no item "Excentricidades".

Fonte: Próprio do autor, 2025

Desta maneira, os edifícios de sistema convencional, foram adotados para os coeficientes de arrasto de vento conforme indicado na figura 19 acima, Ca de 1,25 para vento a 90° e 270°, e, 1,31 para vento a 0° e 180°.

Mesmo ambos os edifícios possuindo a mesma geometria e planta baixa e alturas iguais

3.7 LANÇAMENTO DAS LAJES

Nos pavimentos tipo ficou adotado o modelo pré-definido dentro do CAD/TQS de laje nervurada de altura total 23 cm, com cubetas da empresa Atex. Estas possuem base quadrada, conforme indicado na Figura 20, com lado médio (TM) de 49,7cm, altura (HN) de 18 cm e capa de concreto (CP) de 5cm. No sentido transversal, as fôrmas possuem formato de trapezoidal, com espaçamento superior da nervura (ES) em 12,5 cm e espaçamento inferior (EI) em 8cm. A laje do pavimento de cobertura segue especificações do mesmo fabricante, porém possui fôrma com lado médio em 50 cm, altura da nervura em 18 cm e capa de concreto de 5cm, resultando na altura total da laje de 23 cm. O espaçamento da nervura superior é 18cm, e da inferior, 12cm.

Figura 22 – Geometria laje nervurada

Dados de lajes

Identificação | Seção/Carga | Modelo | Grelha | Temperatura/Retração | Detalhamento | Catalogadas | BIM

Maciça | Nervurada R | Nervurada T | Vigota | Treliçada | Pré-fabricada | Mista

Laje nervurada de seção trapezoidal

Capa	Altura da nervura	Enchimento
cm	cm	tf/m3
5	18	0

Formas:

	Horizontal	Vertical
Tamanho médio	49.7	49.7
Espaçamento superior	12.5	12.5
Espaçamento inferior	8	8
Inércia	18954	18954
Volume de forma	45000	cm3

Diagrama de geometria da laje nervurada:

Legenda:

- ES=Superior
- EI=Inferior
- CP=Capa
- HN=Altura
- TM=Médio
- HR=Horizontal
- VR=Vertical

Fabricante:

Fabricante	Bloco
Formplast	Atex 600 Capa 5.0 H 15.0
Atex	Atex 600 Capa 5.0 H 18.0
XCol - Plastica	Atex 610 N125 Capa 5.0 H 10.0
Cubetas Ulma	Atex 610 N125 Capa 7.5 H 10.0
Astra	Atex 610 N125 Capa 10.0 H 10.0
Brasil Fôrmas	Atex 610 N125 Capa 5.0 H 15.0

Rebaixo: 0 cm Carga distribuída: 0.250/0.150 tf/m2

Tipo de bloco de enchimento, dado um fabricante

OK Cancelar

Fonte: Próprio do autor, 2025

3.8 COMBINAÇÕES DA ANÁLISE ESTRUTURAL

No edifício foram considerados oito combinações do estado limite ultimo e mais quatro situações simples de vento. Situação simples de vento:

- Vento 90° (1);
- Vento 270° (2);
- Vento 0° (3);
- Vento 180° (4);

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023) o coeficiente de ponderação para edifícios residenciais (sem equipamentos fixos ou concentração de pessoas) é Ψ_0 igual a 0,5 e Ψ_0 igual a 0,6 para pressão dinâmica de vento nas Combinações estado limite de serviço e último (ELS/ELU):

- Combinação 01:

Peso próprio + Carga permanente + Carga acidental + 0,6 Vento1

- Combinação 02:

Peso próprio + Carga permanente + Carga acidental + 0,6 Vento2

- Combinação 03:

Peso próprio + Carga permanente + Carga acidental + 0,6 Vento3

- Combinação 04:

Peso próprio + Carga permanente + Carga acidental + 0,6 Vento4

- Combinação 05:

Peso próprio + Carga permanente + 0,5Carga acidental + Vento1

- Combinação 06:

Peso próprio + Carga permanente + 0,5Carga acidental + Vento2

- Combinação 07:

Peso próprio + Carga permanente + 0,5Carga acidental + Vento3

- Combinação 08:

Peso próprio + Carga permanente + 0,5Carga acidental + Vento4

Por se tratar de uma verificação essencialmente em Estado Limite Último (ELU), todo o cálculo dos parâmetros de estabilidade é realizado com os resultados do pórtico espacial ELU (TQS informática, 2025).

3.9 RECURSOS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS

A etapa de processamento numérico dos modelos estruturais demanda capacidade computacional significativa, especialmente para a análise do Modelo VI (Pórtico Espacial Integrado), que envolve a resolução de sistemas de equações lineares de grande porte.

A modelagem, o processamento e a extração dos resultados foram realizados em um computador portátil de alto desempenho (notebook), cujas especificações técnicas foram suficientes para garantir a precisão numérica e a otimização do tempo de cálculo. As características do hardware utilizado estão detalhadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Especificações dos Recursos Computacionais

Componente	Especificação
Equipamento	Acer Nitro 5 (Modelo 2023)
Processador (CPU)	Intel Core i5-12450H
Memória RAM	16 GB DDR4 3200MHz
Placa de Vídeo (GPU)	NVIDIA GeForce RTX 3050 4GB
Armazenamento	512 GB
Sistema Operacional	Windows 11 Home (64 bits)

Fonte: Próprio do autor, 2025

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das análises realizadas, foram observados os seguintes resultados demonstrados a partir do processamento no software CAD/TQS dos modelos descritos, bem como uma análise dos mesmos. O primeiro item a ser abordado engloba os parâmetros de estabilidade global, tendo em vista que estes coeficientes devem ser verificados na fase inicial de concepção do projeto e possuem relação direta com os resultados de taxa de armadura a serem apresentados na sequência.

Concluindo o processamento de cada modelo, o CAD/TQS forneceu os parâmetros de estabilidade global da estrutura através de relatórios específicos. Foram considerados para discussão o coeficiente gama-Z, a fim de classificar a deslocabilidade da estrutura, e o coeficiente Favt, indicando a magnitude dos efeitos de 2ª ordem. De forma geral, todos os coeficientes apresentaram resultados menores quando utilizado o Modelo VI em relação ao Modelo IV.

4.1 COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS ESTRUTURAIS

4.1.1 Comparação do Yz entre modelos estruturais

Tabela 4 - Resultados obtidos do Estudo de Caso 1 (Modelo - Laje Lisa)

Direção Horizontal - VENTO 3 (0°)					
	MODELO	Stopo, ELU	Stopo, ELS	Desloc. Topo (H/1700)	Yz
Modelo 4	M1-LISA-IV-0°	16,15,cm	3,22,cm	2,04,cm	1,34
Modelo 6	M2-LISA-VI-0°	9,07,cm	1,86,cm	1,00,cm	1,18

Fonte: Autor (2025)

Nesta primeira análise do sistema de lajes lisas (Vento 0°), já se observa a insuficiência do Modelo IV. Conforme os dados apresentados, o Modelo IV resultou em um gama-Z de 1,34, valor que supera o limite de 1,30, indicando uma sensibilidade excessiva. Ao migrar para o Modelo VI, o coeficiente foi reduzido para 1,18, enquadrando a estrutura dentro dos parâmetros aceitáveis de estabilidade.

Tabela 5 - Resultados obtidos do Estudo de Caso 1 (Modelo - Laje Lisa)

Direção Vertical - VENTO 1 (90°)					
	MODELO	Stopo, ELU	Stopo, ELS	Desloc. Topo (H/1700)	Yz
Modelo 4	M1-LISA-IV-90°	20,47,cm	2,83,cm	2,74,cm	1,60
Modelo 6	M2-LISA-VI-90°	8,62,cm	1,61,cm	0,97,cm	1,21

Fonte: Autor (2025)

É na direção crítica (Vento 90°) que a análise dos parâmetros revelou a sensibilidade extrema do sistema. No cenário M1-LISA-IV (Modelo IV), a estrutura apresentou um coeficiente gama-Z de 1,60, classificando-a, como instável e tecnicamente inviável sem o enrijecimento dos pilares.

Esse resultado deve-se à hipótese simplificadora do Modelo IV, que considera a laje apenas como diafragma rígido (travamento cinemático), mas despreza sua rigidez à flexão. Nesse modelo, os pilares comportam-se como barras em balanço engastadas na base, sem o auxílio da laje para restringir a rotação nos nós superiores.

Em contrapartida, no cenário M2-LISA-VI (Modelo VI), o coeficiente gama-Z reduziu-se para 1,21, uma diminuição de aproximadamente 24%. Essa alteração reclassifica a estrutura para a condição de nós móveis, permitindo sua validação normativa. O incremento da consideração da laje junto ao modelo torna-o mais realista aos esforços solicitantes: a laje passa a absorver parte dos momentos fletores gerados pelas ações horizontais (vento), ativando o "efeito de diafragma rígido" e

corroborando o estudo de Zimmer (2020). O Modelo IV, portanto, gera um "falso diagnóstico" de instabilidade para edifícios de lajes lisas.

Tabela 6 - Resultados obtidos do Estudo de Caso 2 (Modelo - Convencional)

Direção Horizontal - VENTO 3 (0°)					
	MODELO	Stopo, ELU	Stopo, ELS	Desloc. Topo (H/1700)	Yz
Modelo 4	M3-CONV-IV-0°	14,73,cm	2,51,cm	1,73,cm	1,15
Modelo 6	M4-CONV-VI-0°	13,09,cm	2,37,cm	1,50,cm	1,14

Fonte: Autor (2025)

Ao analisarmos o sistema convencional (com vigas), o comportamento altera-se drasticamente em comparação à laje lisa. Para o Vento 0°, a variação do gama-Z foi marginal, reduzindo de 1,15 (Modelo IV) para 1,14 (Modelo VI). Os deslocamentos no topo também apresentaram variações mínimas, demonstrando que a escolha do modelo tem pouco impacto na rigidez global nesta direção.

Tabela 7 - Resultados obtidos do Estudo de Caso 2 (Modelo - Convencional)

Direção Vertical - VENTO 1 (G0°)					
	MODELO	Stopo, ELU	Stopo, ELS	Desloc. Topo (H/1700)	Yz
Modelo 4	M3-CONV-IV-90°	9,00,cm	2,37,cm	1,09,cm	1,11
Modelo 6	M4-CONV-VI-90°	8,26,cm	1,71,cm	0,98,cm	1,10

Fonte: Autor (2025)

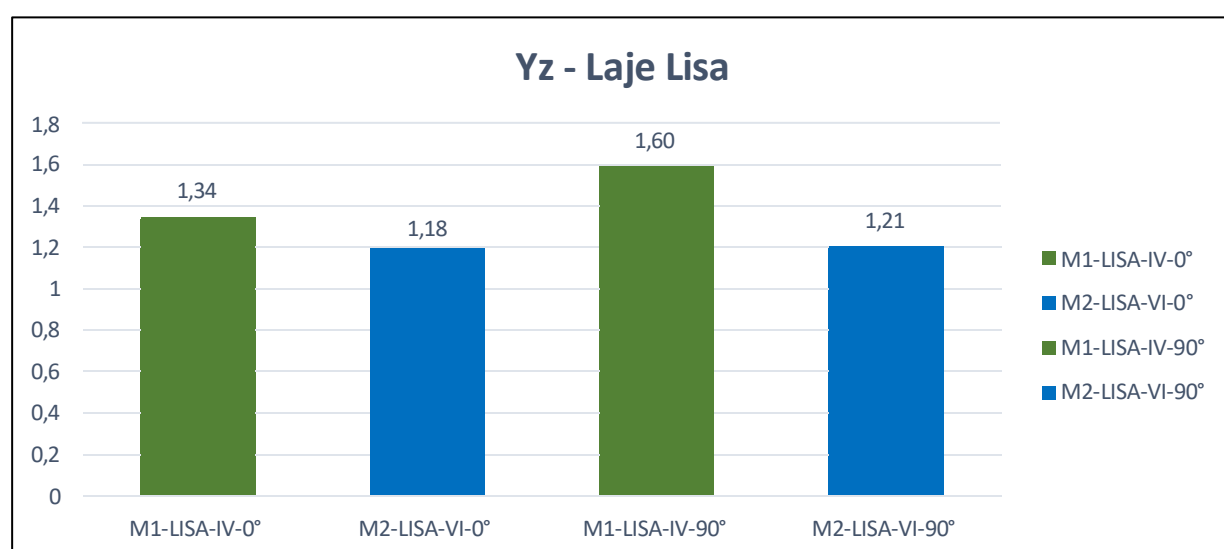
Confirmando a tendência observada na direção anterior, para o Vento 90°, a diferença entre os modelos permaneceu desprezível, com o gama-Z variando apenas de 1,11 para 1,10.

Isso ocorre porque, nos modelos de sistema convencional, as vigas de inércia elevada já garantem o travamento pórtico eficiente. Dessa forma, a contribuição adicional da rigidez da laje (considerada no Modelo VI) torna-se menos relevante para a estabilidade global, conforme previsto por Moncayo (2011). Conclui-se que, para estruturas convencionais, o Modelo IV apresenta resultados seguros e muito próximos da análise refinada.

A análise comparativa visual dos Gráficos 1 a 4 permite consolidar o entendimento sobre a influência da rigidez da laje na estabilidade global das edificações.

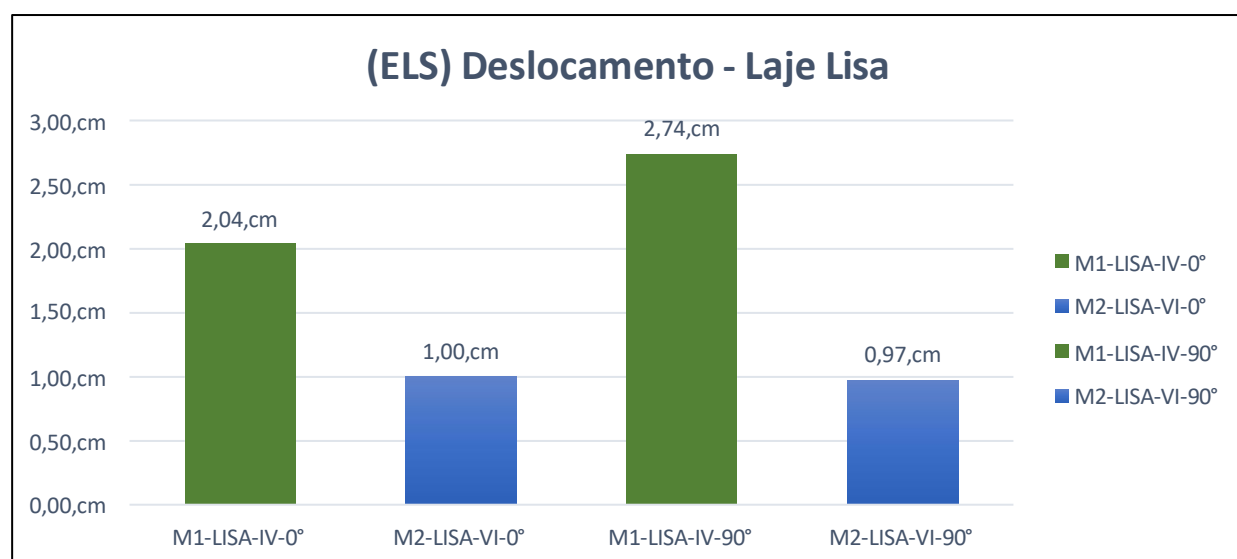
Para o sistema de Lajes Lisas, os Gráficos 1 e 2 evidenciam uma disparidade crítica entre os modelos de cálculo. Observa-se que a negligência da rigidez transversal da laje no Modelo IV resultou em parâmetros de instabilidade severos ($Y_z = 1,60$ e deslocamentos de 2,74 cm). Contudo, a adoção do Modelo VI promoveu uma "correção física" do sistema, reduzindo o Y_z para 1,21 e os deslocamentos para patamares inferiores a 1,0 cm. Essa redução drástica confirma que, na ausência de vigas, a laje assume o papel de travamento horizontal, comportando-se como um pórtico espacial que o Modelo IV é incapaz de simular.

Gráfico 1 – Comparação do GamaZ entre os modelos de laje lisa



Fonte: Autor (2025)

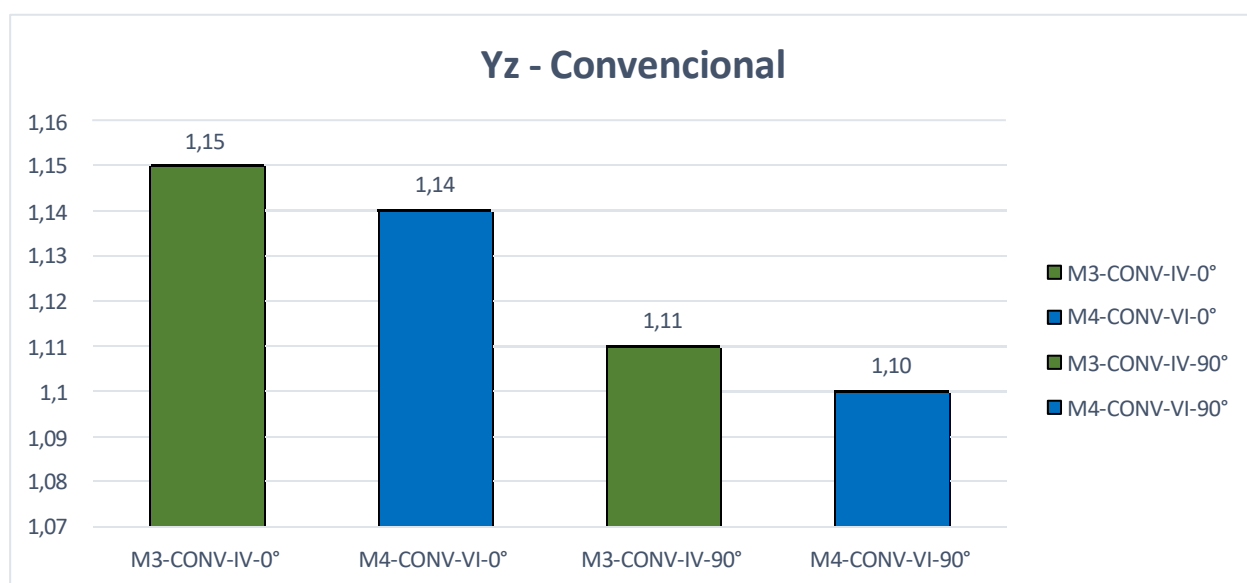
Gráfico 2 - Comparação entre os deslocamentos no topo do Edifício



Fonte: Autor (2025)

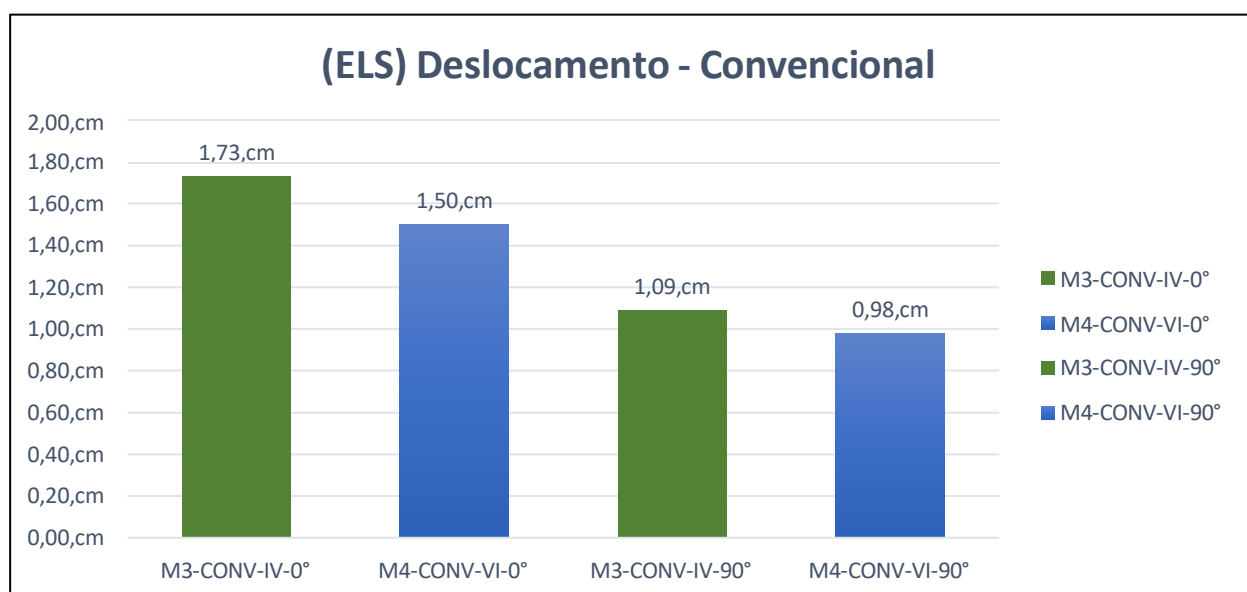
Em contrapartida, os Gráficos 3 e 4 demonstram a robustez do Sistema Convencional. As barras representativas do Yz e dos deslocamentos apresentam variações marginais entre os Modelos IV e VI (ex: Yz variando apenas de 1,15 para 1,14 na direção 0°). Isso ratifica que, na presença de vigas de alta inércia, o travamento da estrutura já está garantido pelos pórticos formados por vigas e pilares.

Gráfico 3 – Comparação do GamaZ entre os modelos convencionais



Fonte: Autor (2025)

Gráfico 4 – Comparação dos deslocamentos entre os modelos convencionais

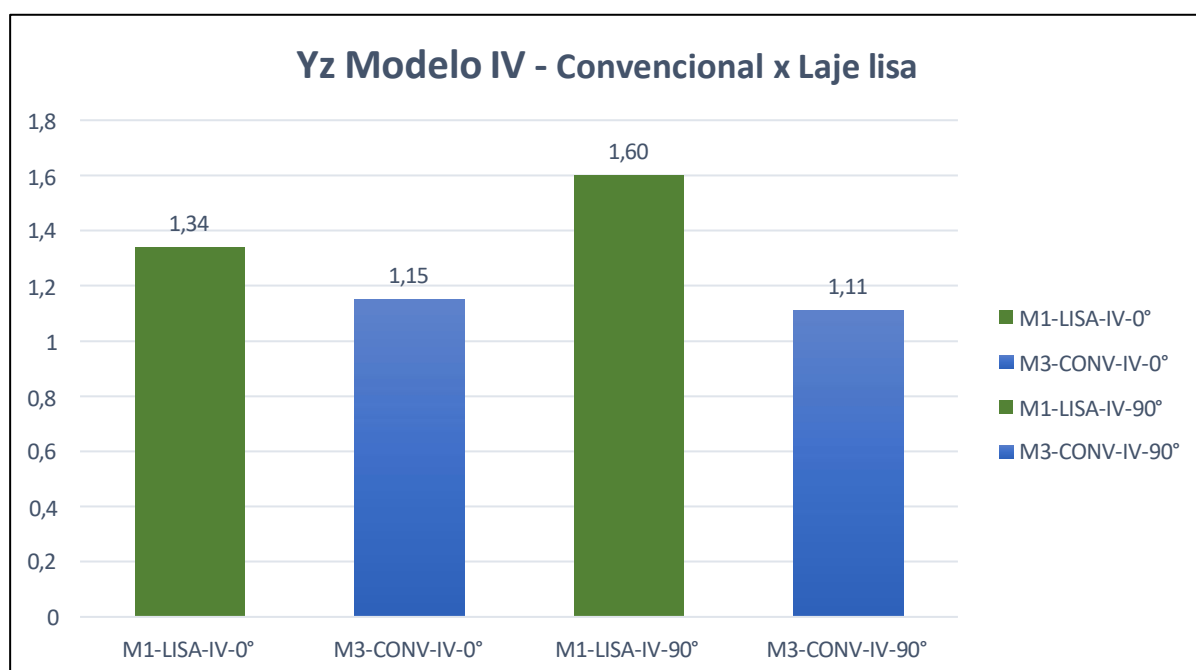


Fonte: Autor (2025)

A análise cruzada entre as tipologias estruturais, conforme ilustrado nos gráficos comparativos, evidencia a disparidade de rigidez global entre os sistemas e como a escolha do modelo computacional pode mascarar ou revelar o comportamento real da estrutura.

4.1.2 Comparação do Yz entre os sistemas construtivos

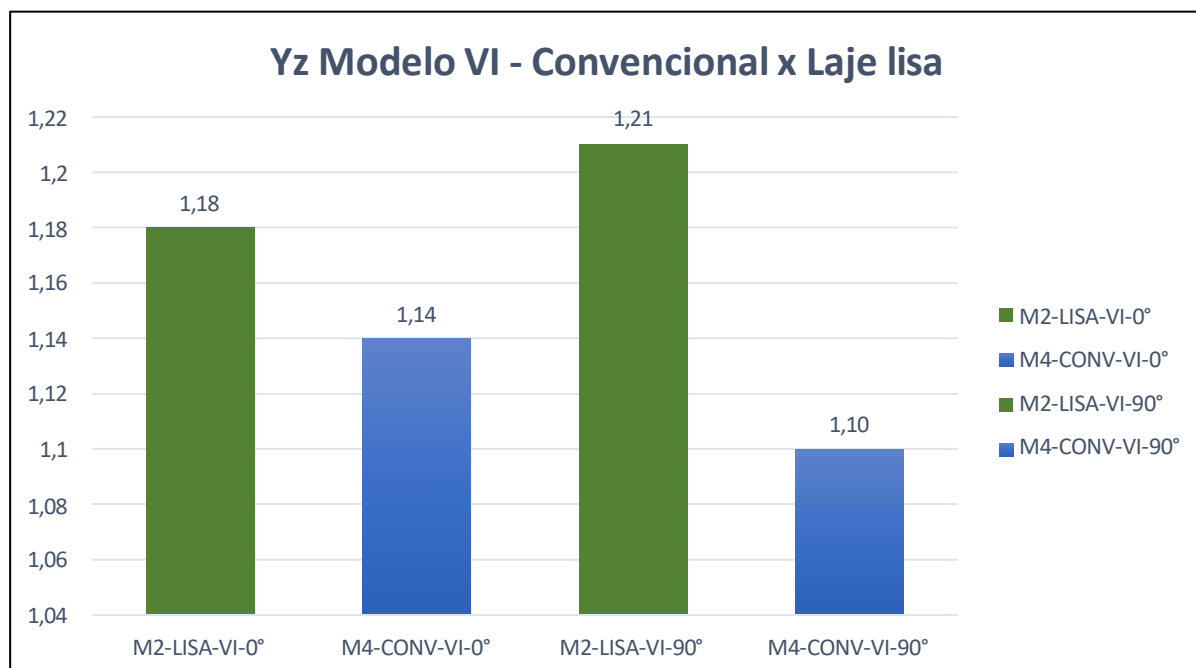
Gráfico 5 – Comparação do Yz entre os sistemas construtivos no modelo IV



Fonte: Autor (2025)

Ao analisarmos o Modelo IV (Pórtico e Grelha desacoplados), nota-se uma divergência alarmante entre os sistemas. Enquanto o edifício convencional mantém um Yz controlado de 1,15 e 1,11, o sistema de laje lisa dispara para 1,34 e 1,60. Essa diferença não reflete apenas a menor rigidez da laje lisa, mas sim uma falha de modelagem: o Modelo IV penaliza excessivamente a laje lisa ao ignorar sua contribuição no travamento, fazendo com que a estrutura pareça muito mais instável do que realmente é quando comparada ao convencional.

Gráfico 6 – Comparação do Yz entre os sistemas construtivos no modelo VI

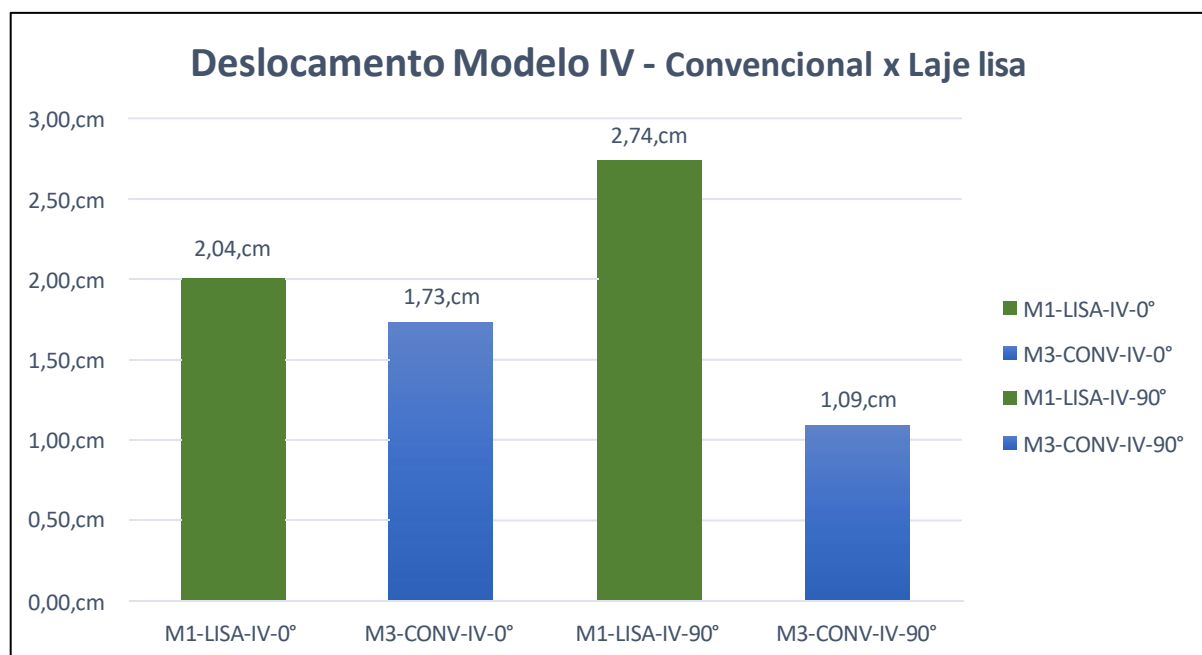


Fonte: Autor (2025)

Já a análise via Modelo VI (Pórtico Espacial Integrado) traz os resultados para um patamar de "equilíbrio". Embora o sistema de laje lisa continue sendo naturalmente mais flexível que o convencional (devido à ausência de vigas rígidas), a diferença de estabilidade diminui drasticamente. O Yz crítico da laje lisa cai para 1,21, aproximando-se muito mais dos valores obtidos no sistema convencional (1,14 e 1,10).

No que tange aos deslocamentos horizontais (Gráfico de Deslocamentos), o impacto é ainda mais visual. No Modelo IV, a laje lisa apresenta um deslocamento de 2,74 cm (Vento 90°), mais que o dobro do sistema convencional (1,09 cm).

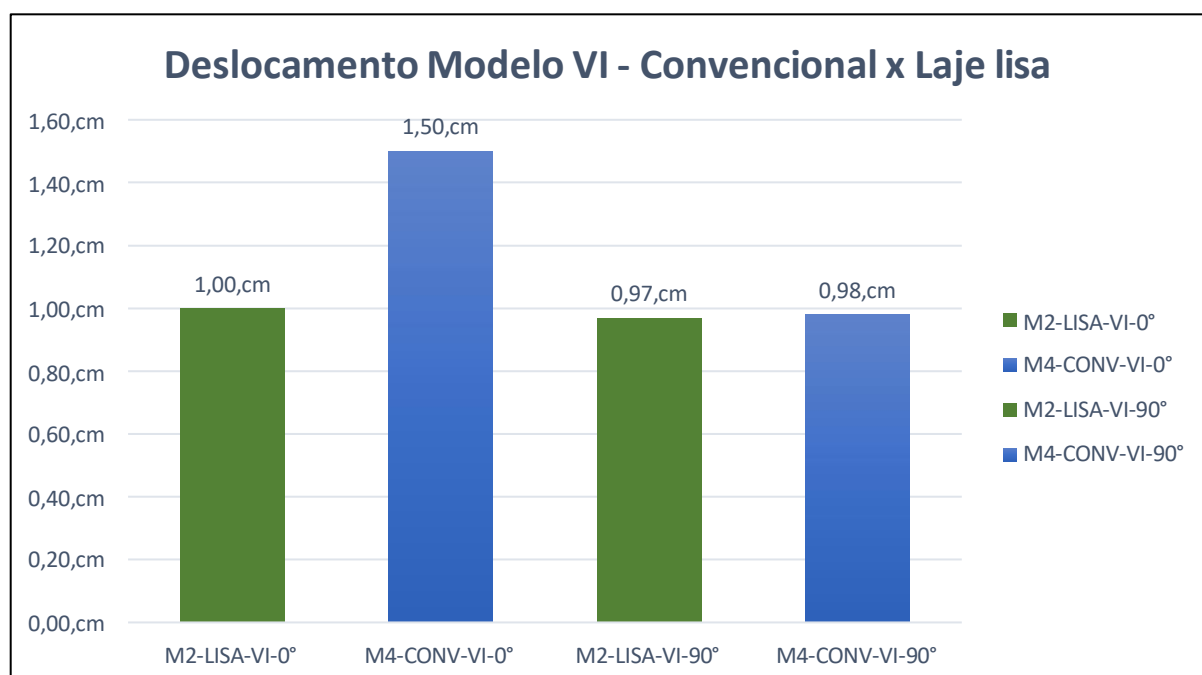
Gráfico 7 – Comparação dos deslocamentos entre os sistemas construtivos
no modelo IV



Fonte: Autor (2025)

Quando se aplica o Modelo VI, o deslocamento da laje lisa cai para 0,97 cm, ficando, surpreendentemente, no mesmo patamar do sistema convencional (0,98 cm).

Gráfico 8 – Comparação dos deslocamentos entre os sistemas construtivos
no modelo VI



Fonte: Autor (2025)

4.1.3 Tempo de processamento dos modelos

A precisão refinada do Modelo VI está diretamente atrelada a um maior custo computacional. A discretização da laje em elementos de grelha ou elementos finitos amplia exponencialmente o número de nós e equações da matriz de rigidez global, exigindo maior tempo de máquina para a resolução do sistema.

Tabela 8 - Tempo de Processamento

Tempo de Processamento		
	MODELO	Tempo (min)
Modelo 4	M1-LISA-IV	11
Modelo 6	M2-LISA-VI	23
Modelo 4	M3-CONV-IV	6
Modelo 6	M4-CONV-VI	24

Fonte: Autor (2025)

Para o sistema de Lajes Lisas, esse "custo extra" de 12 minutos (mais de 109%) é justificável e necessário, pois é o preço a se pagar para garantir a estabilidade da estrutura (reduzindo o gama-Z de 1,60 para 1,21).

Contudo, para o Sistema Convencional, o aumento de 300% no tempo de processamento não se traduziu em ganhos técnicos proporcionais. Como visto anteriormente, a estabilidade (gama-Z) variou de forma irrelevante. Portanto, utilizar o Modelo VI para edifícios convencionais simples representa uma ineficiência de projeto: gasta-se quatro vezes mais recursos computacionais para obter praticamente o mesmo resultado prático.

5. CONCLUSÃO

5.1 ALTA SENSIBILIDADE EM LAJES LISAS

Confirmou-se a hipótese de que o sistema de lajes lisas é altamente sensível à escolha do modelo computacional. Para a edificação analisada sob ação do vento, a adoção do Modelo VI reduziu o coeficiente de instabilidade gama-Z de 1,60 (instável) para 1,21 (estrutura de nós móveis). Essa redução de aproximadamente 24% viabilizou tecnicamente o projeto sem a necessidade de aumentar a seção dos pilares, apenas pela correta consideração da rigidez da laje.

Demonstrou-se que o Modelo IV, por adotar a simplificação de diafragma rígido

sem considerar a rigidez à flexão da laje, subestima a rigidez global em estruturas sem vigas. Essa abordagem gera um diagnóstico de instabilidade equivocada ("falso instável"), pois negligencia a capacidade da laje de restringir a rotação dos nós dos pilares (efeito de pórtico).

A análise integrada (Modelo VI) comprovou a ocorrência de redistribuição de esforços em sistemas de lajes lisas. Observou-se que a consideração da rigidez à flexão da laje permite que esta atue como um elemento de ligação elástica, restringindo a rotação dos nós dos pilares sob ação do vento. Esse comportamento valida a teoria de que a laje integra o pórtico resistente (efeito de pórtico), reduzindo a deslocabilidade horizontal e a instabilidade global, fenômeno este ignorado pela simplificação do Modelo IV.

5.2 BAIXA INFLUÊNCIA EM ESTRUTURAS CONVENCIONAIS

Diferentemente das lajes lisas, a comparação no sistema convencional (viga-pilar-laje) demonstrou que a escolha do modelo exerce pouca influência na estabilidade global. O coeficiente gama-Z variou de 1,20 (Modelo IV) para 1,17 (Modelo VI) na direção crítica. Conclui-se que, devido à elevada rigidez das vigas, o travamento pórtico já é garantido por esses elementos, tornando a contribuição adicional da rigidez da laje no Modelo VI secundária para a análise de estabilidade.

5.3 O QUE NÃO FOI POSSÍVEL RESPONDER

O estudo limitou-se ao levantamento quantitativo de aço e concreto (kg e m³), não sendo possível responder qual o impacto financeiro final (em reais) da escolha do modelo, visto que não foram analisados custos variáveis como fôrmas, mão de obra e tempo de execução.

Não foi possível determinar como os recalques diferenciais afetariam a redistribuição de esforços entre os modelos, uma vez que as fundações foram modeladas como apoios rígidos (engastados), desconsiderando a Interação Solo-Estrutura (ISE).

5.4 RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

Recomenda-se a utilização mandatória de modelos de pórtico espacial

integrado (Modelo VI) para o dimensionamento de edifícios altos com lajes lisas, a fim de garantir a precisão dos parâmetros de estabilidade (gama-Z). Para edifícios convencionais de baixa a média complexidade, o Modelo IV permanece como uma ferramenta segura e eficiente, apresentando resultados conservadores e muito próximos da análise refinada.

Vale ressaltar que aplicar o Modelo VI em todas as situações não é vantajoso. Para estruturas convencionais de vigas, pilares e lajes, esse modelo exige um tempo de processamento computacional maior, além de tornar a análise dos resultados mais trabalhosa. Como o ganho de precisão é muito pequeno nesses casos simples, esse esforço extra não compensa, o que reforça a escolha pelo Modelo IV pela sua agilidade em modelos para sistemas convencionais.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Cada estrutura difere uma da outra em muitos aspectos. É impossível, em um único trabalho, abarcar todas as variáveis possíveis que afetem a estabilidade global de uma estrutura. Efeitos como Torção, posição dos elementos estruturais, efeito construtivo, influência do tipo de laje protendida ou não, entre outros, que não foram aqui abordados.

Um complemento interessante para esse estudo seria variar a altura dos modelos criados. Dessa maneira poderiam ser verificadas as faixas de altura em que seria eficiente a utilização do Modelo VI, e as faixas de altura que seria dispensável, levando em consideração os parâmetros de estabilidades aqui estudados. Isso permitiria uma maior sensibilidade estrutural, fator de suma importância na modelagem estrutural de edifícios.

7. REFERÊNCIAS

REIS, Alcenir Soares dos; FROTA, Maria Guiomar da Cunha. **Guia básico para a elaboração do projeto de pesquisa**. Belo Horizonte, MG: UFMG, [200-]. Disponível em: <https://www.ufmg.br/proex/cpinfo/educacao/docs/06a.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2023.

TQS Informática. **Manual do software TQS – Modelos de análise estrutural**. São Paulo: TQS Informática Ltda, 2023.

ABNT. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

VANELIS, C. **A influência dos modelos estruturais na estabilidade global de edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Estrutural) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

MONCAYO, Winston Junior Zumaeta. **ANÁLISE DE SEGUNDA ORDEM GLOBAL EM EDIFÍCIOS COM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO**. 2011. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Programa de Engenharia Civil (Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MARQUES, Agler Honorato. **ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO AO SER ADOTADO NÚCLEO RÍGIDO**. 2022. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2022.

KIMURA, Alio. **INFORMÁTICA APLICADA A ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. São Paulo: Pini, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8681. *Ações e segurança nas estruturas*.

MARTHA, Luiz Fernando. *Análise de Estruturas: Conceitos e Métodos Básicos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

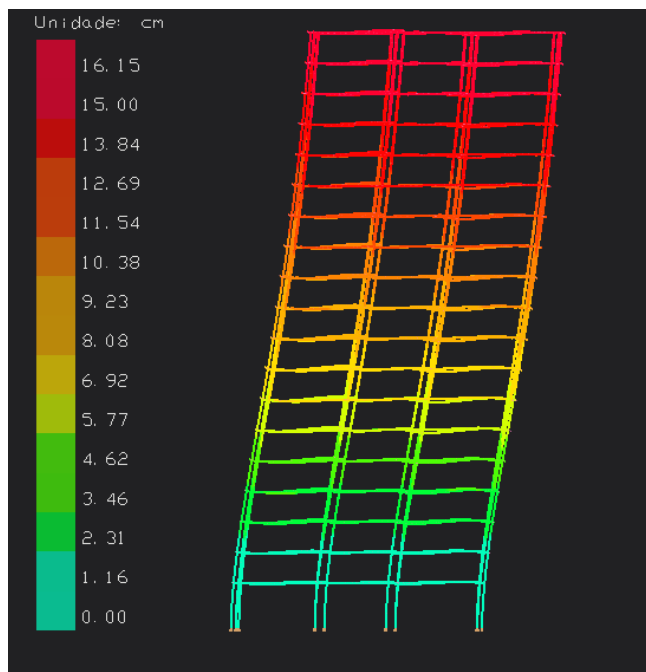
CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. *Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Volume 2*. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

SGARBI, Mauricio. *Sistemas Computacionais Integrados e suas Inovações em Análise*. Palestra/Material Técnico – Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), 2018.

ZIMMER, Júlio Alfredo. *Estabilidade global e fator gama z: estudo comparativo de edifício composto por lajes lisas*. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2020

APÊNDICE A – RESULTADOS DOS MODELOS NO CAD/TQS**MODELO IV - LAJE LISA (M1-LISA-IV)**

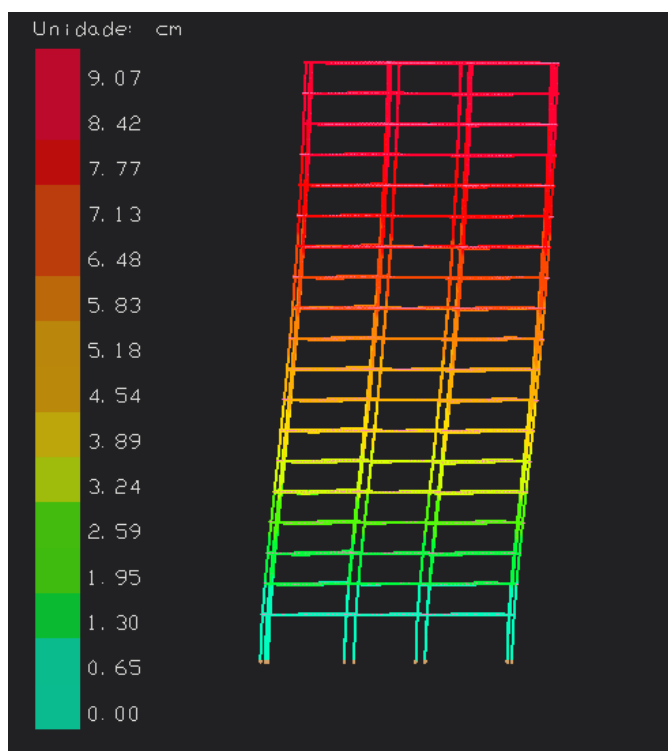
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Caso de vento 3 (0°)



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO VI - LAJE LISA (M2-LISA-VI)

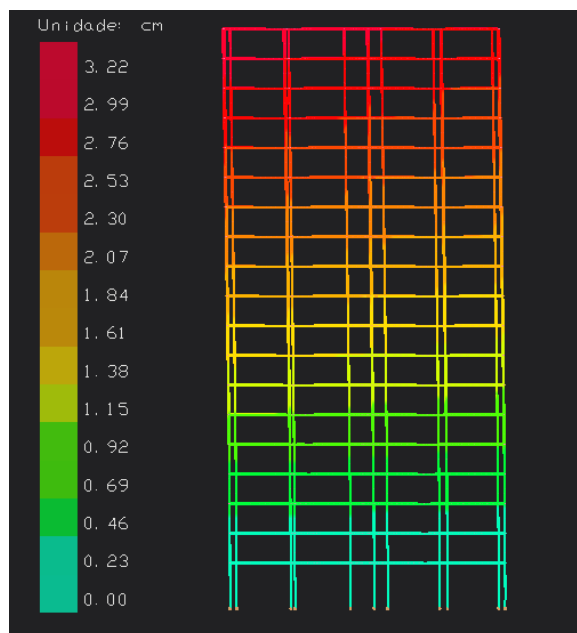
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Caso de vento 3 (0°)



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO IV - LAJE LISA (M1-LISA-IV)

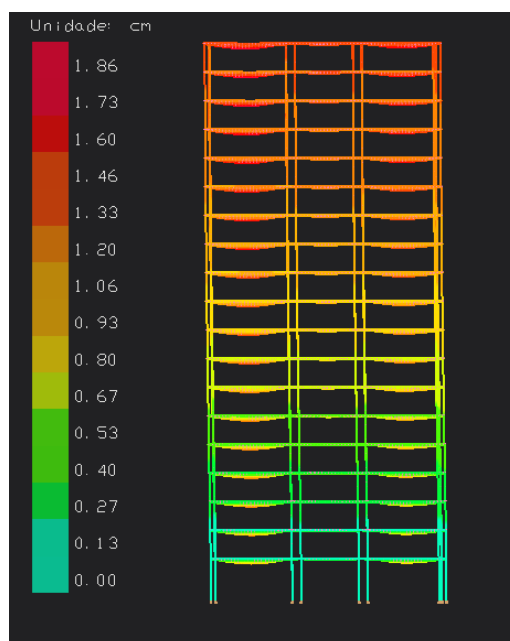
Deslocamento de Topo no Pórtico ELS, Combinação ELU/CFREQ PP + PERM
+0.6ACID+0.3VENT3



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO VI - LAJE LISA (M2-LISA-VI)

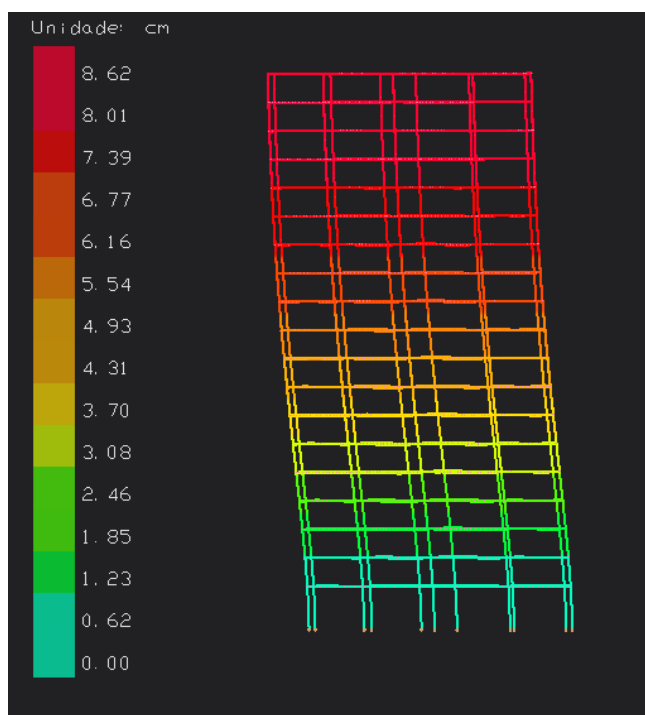
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Combinação ELA/C PP + PERM
+0.6ACID+0.3VENT3



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO VI - LAJE LISA (M2-LISA-VI)

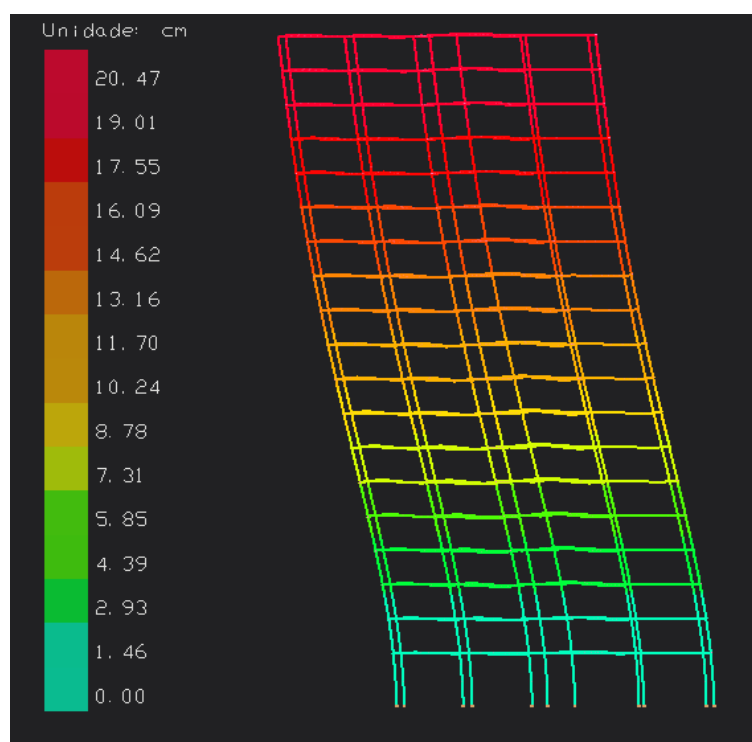
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Caso de Vento 1 (90°)



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO IV - LAJE LISA (M1-LISA-IV)

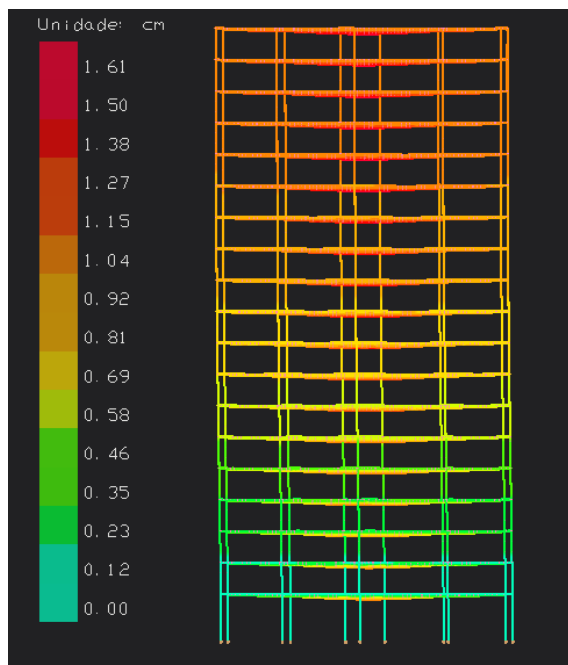
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Caso de Vento 1 (90°)



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO VI - LAJE LISA (M2-LISA-VI)

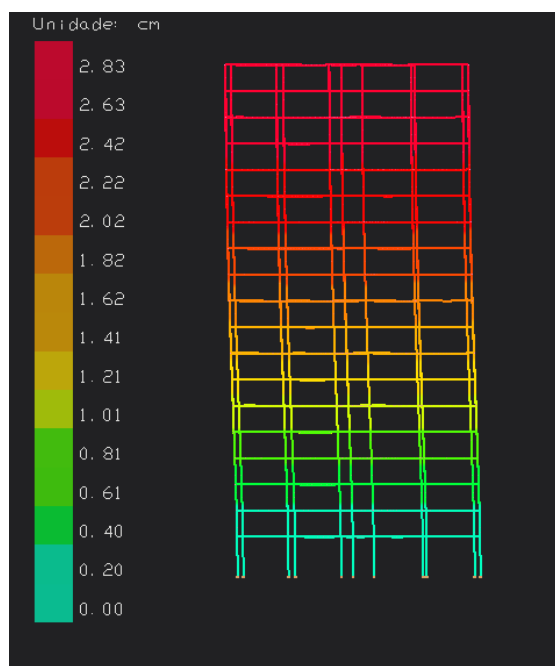
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Combinação ELU/C PP + PERM
+0.6ACID+0.3VENT1



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO IV - LAJE LISA (M1-LISA-IV)

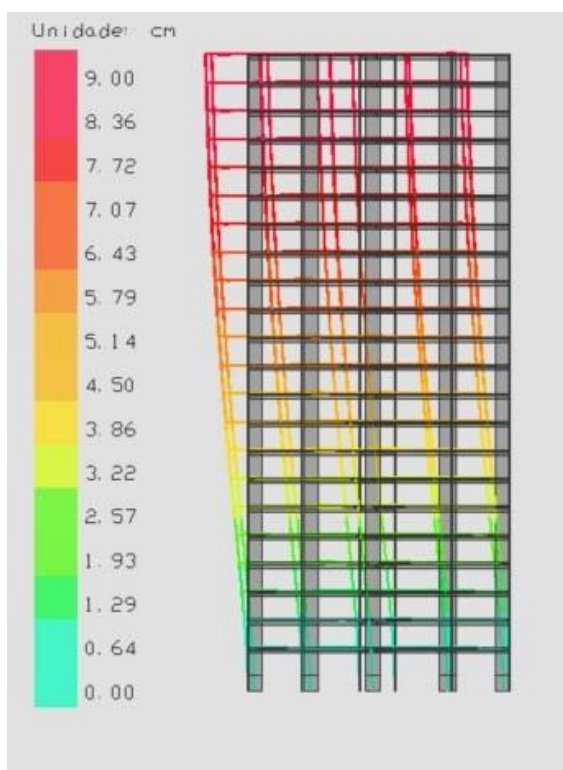
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Combinação ELA/C PP + PERM
+0.6ACID+0.3VENT1



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO IV – CONVENCIONAL (M3-CONV-IV)

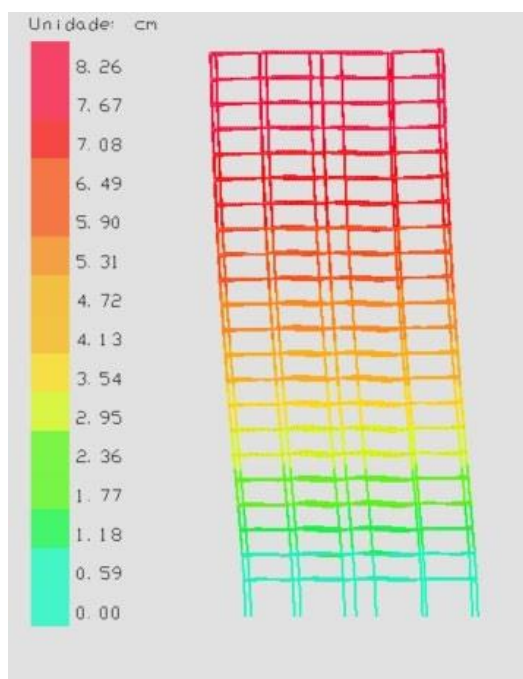
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Caso de vento 1 (90°)



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO VI - LAJE LISA (M4-CONV-VI)

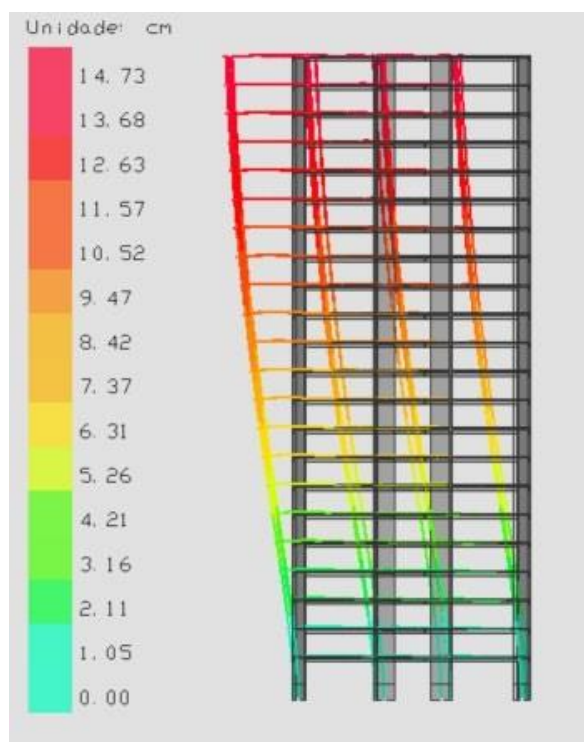
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Caso de vento 1 (90°)



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO IV - CONVENCIONAL (M3-CONV-IV)

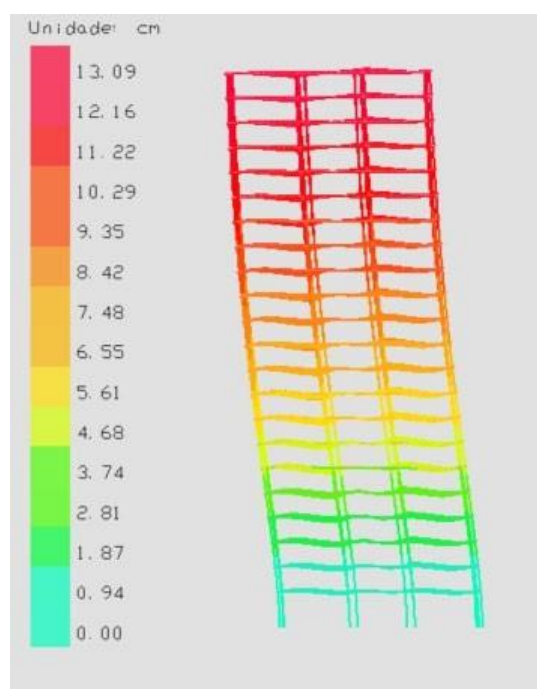
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Caso de vento 3 (0°)



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO VI - CONVENCIONAL (M4-CONV-VI)

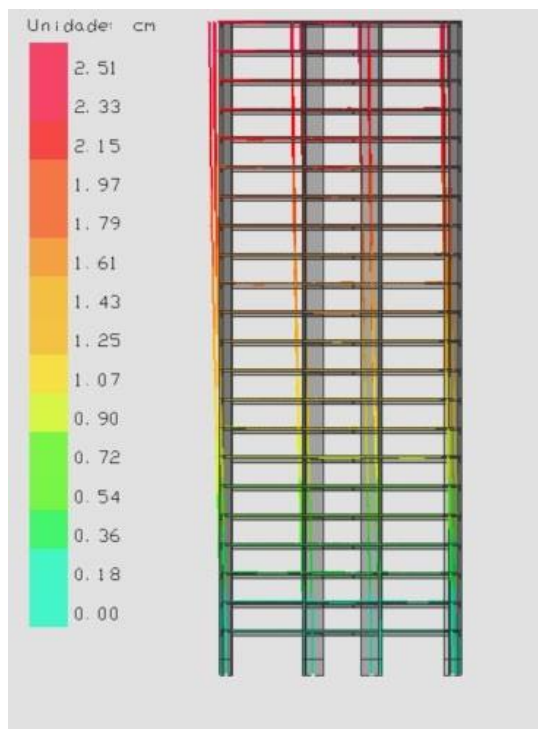
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Caso de vento 3 (0°)



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO VI - CONVENCIONAL (M3-CONV-IV)

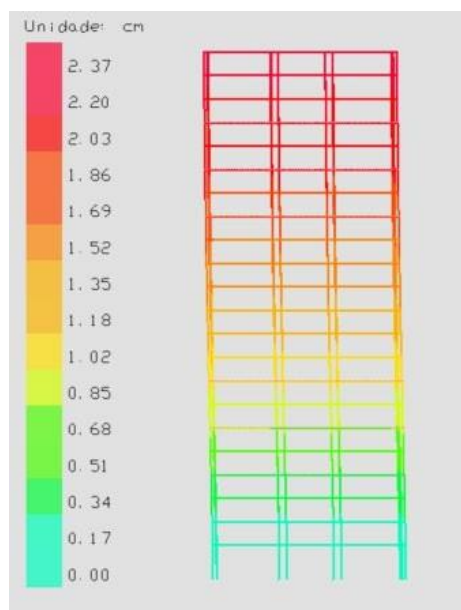
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Combinação ELU/C PP + PERM
+0.6ACID+0.3VENT3



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO IV - CONVENCIONAL (M4-CONV-VI)

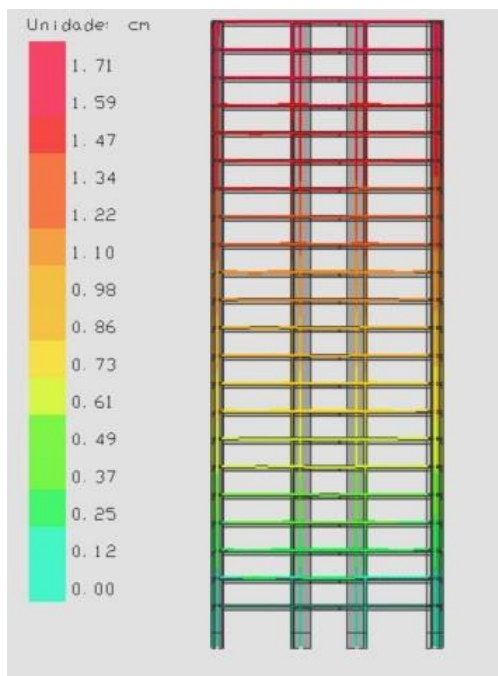
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Combinação ELU/ PP + PERM
+0.6ACID+0.3VENT3



Fonte: Próprio do autor, 2025

MODELO VI - CONVENCIONAL (M3-CONV-IV)

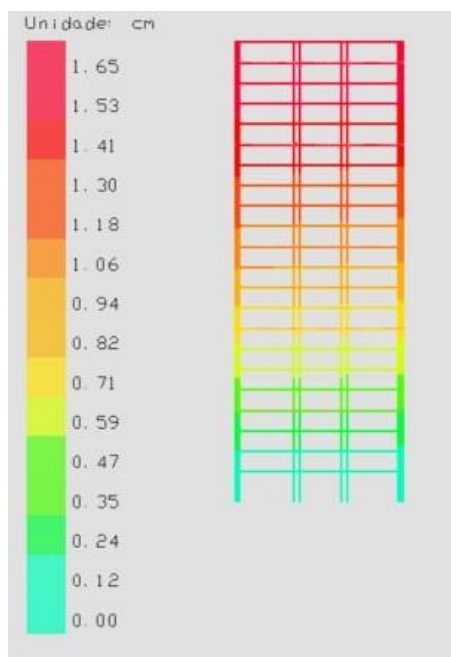
Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Combinação ELU/C PP + PERM
+0.6ACID+0.3VENT1



Fonte: Próprio do autor, 2025

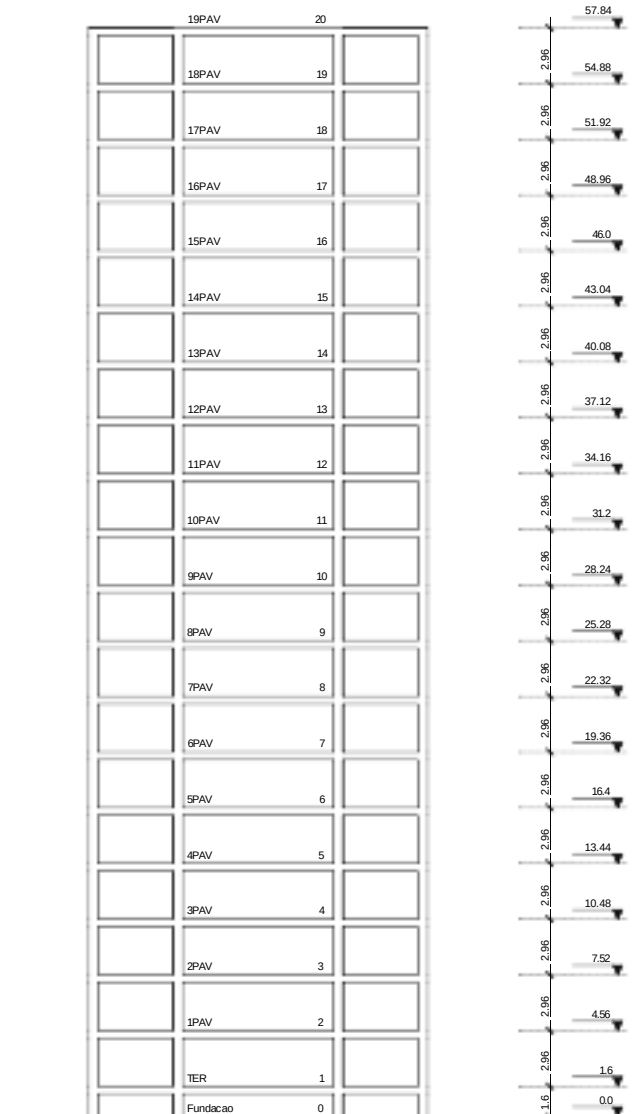
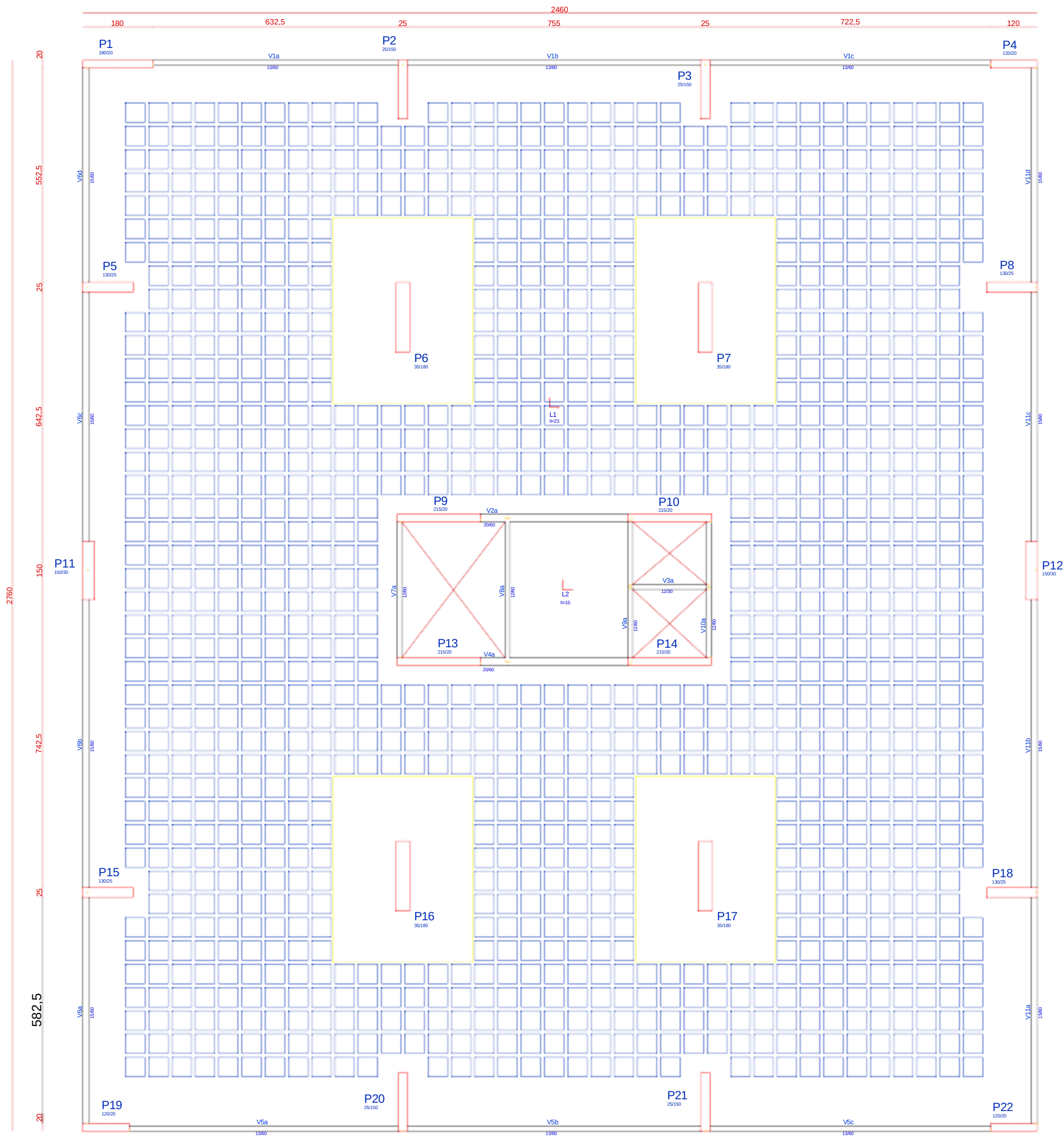
MODELO IV - LAJE LISA (M4-CONV-VI)

Deslocamento de Topo no Pórtico ELU, Combinação ELU/ PP + PERM
+0.6ACID+0.3VENT1

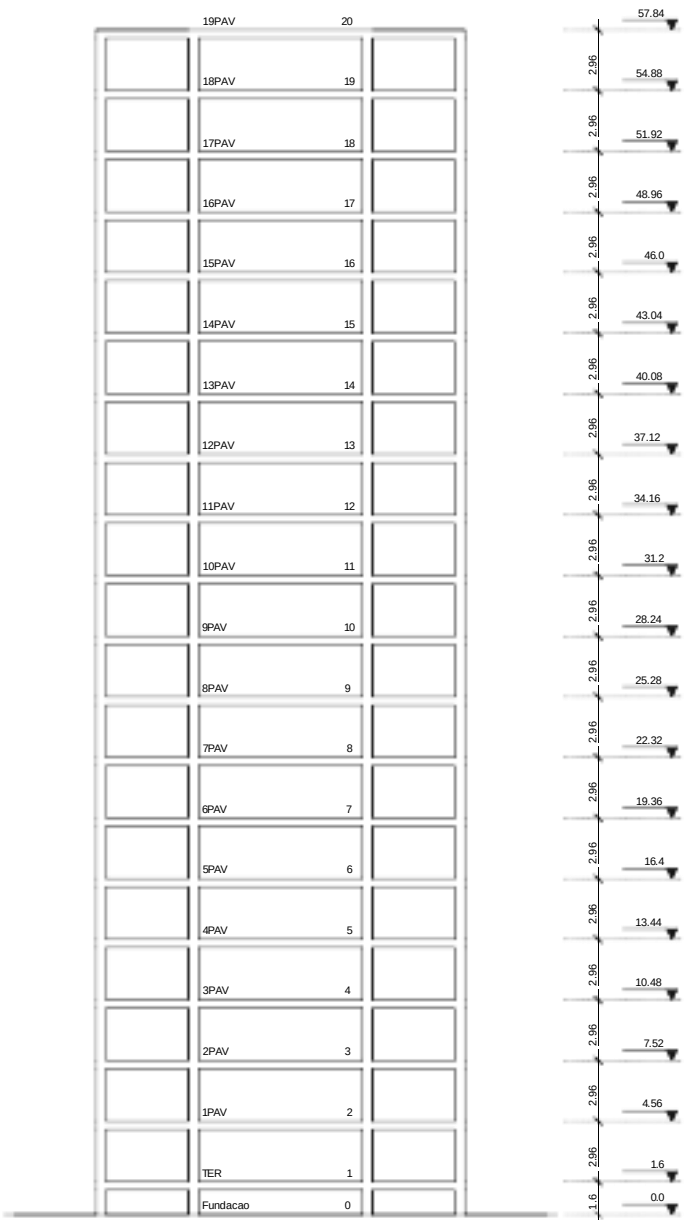
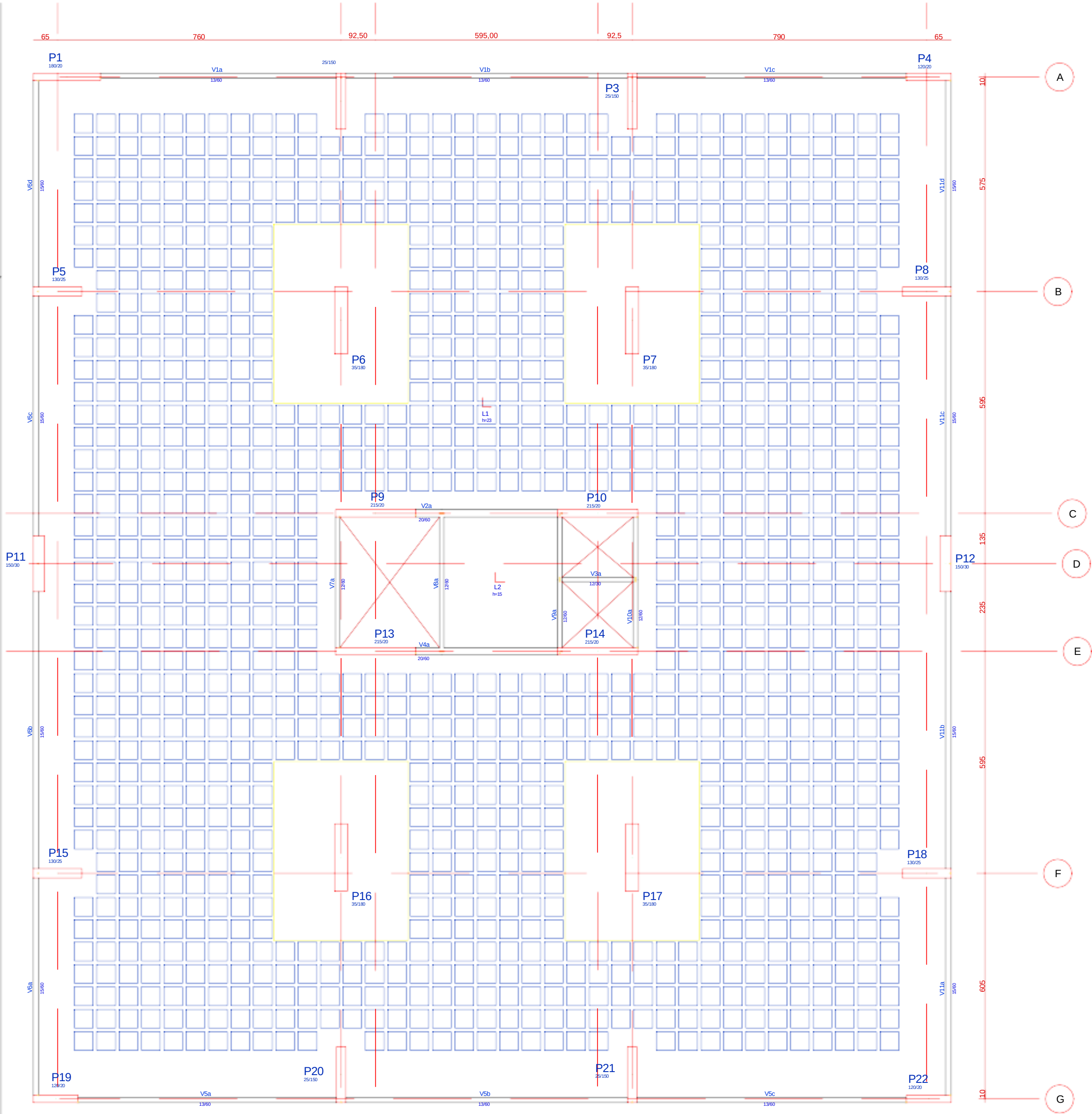


Fonte: Próprio do autor, 2025

APÊNDICE B – PLANTA DE FORMAS E LOCAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO



I.F.P.I INSTITUTO FEDERAL DO PIAUÍ			
PROJETO - TCC 2			
PROJETO: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO			
ENDEREÇO: AV. PEDRO FREITAS, 1020, SÃO PEDRO			
PROPRIETÁRIO: ERIVALDO PEREIRA DO NASCIMENTO FILHO PROPRIETÁRIO		CONTEÚDO: - CORTE LONGITUDINAL - PLANTA DE FORMAS	
		PROJETO/DESENHO: Erivaldo Pereira	
REVISÃO:	MODIFICAÇÃO:	DATA:	DATA: DEZ/2025
			ESCALA: CONFORME INDICADO
		PRANCHA: 02/02	
OBS:			

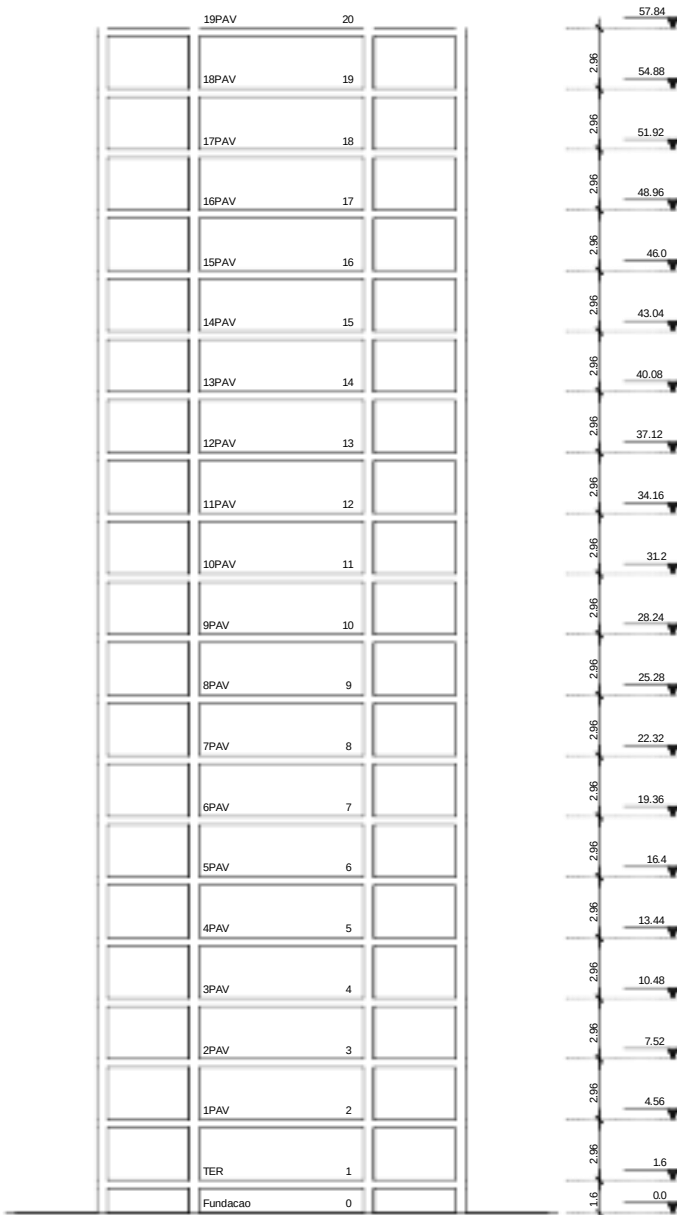
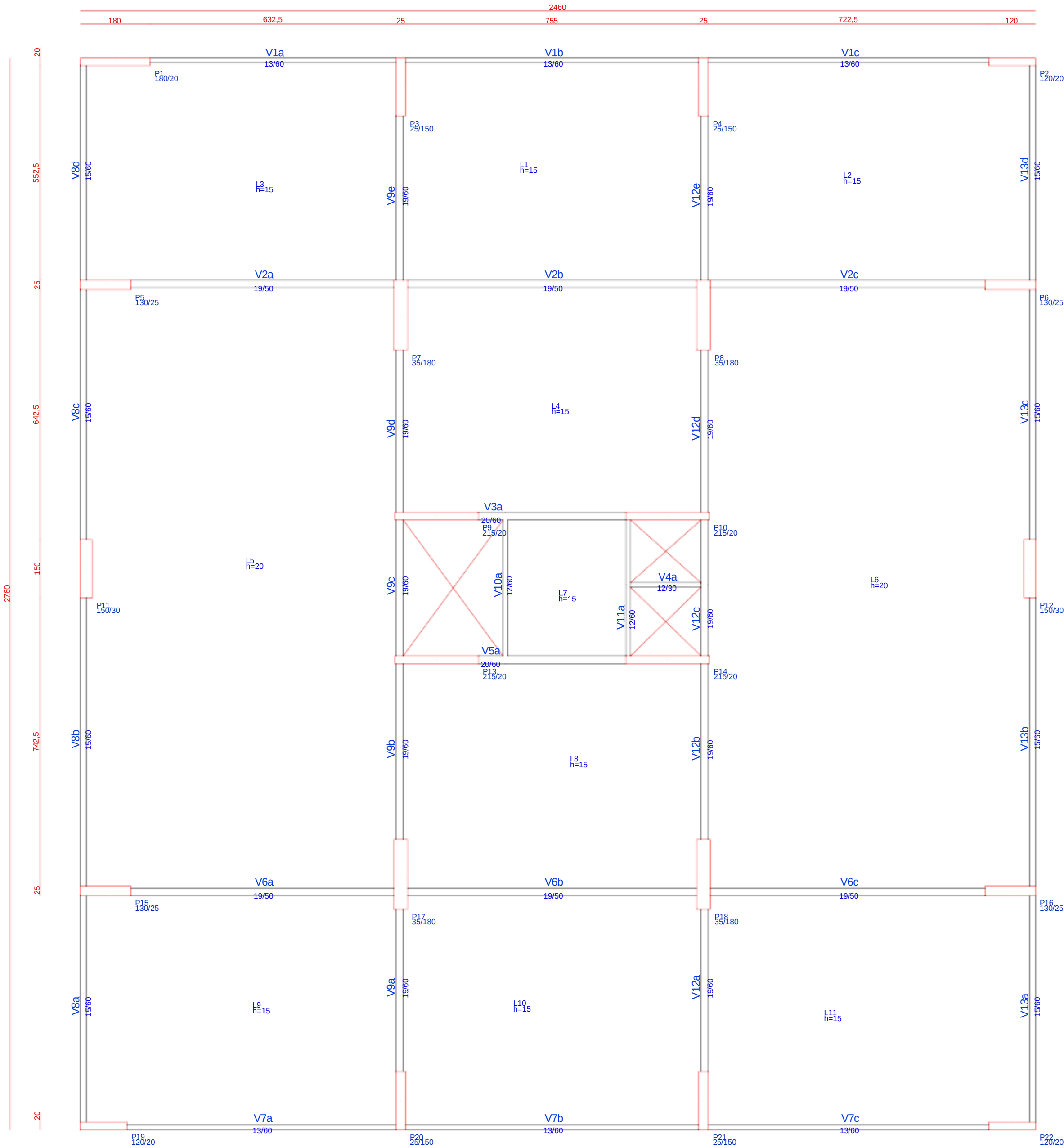


I.F.P.I
INSTITUTO FEDERAL DO PIAUÍ

PROJETO - TCC 2

PROJETO: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO			
ENDEREÇO: AV. PEDRO FREITAS, 1020, SÃO PEDRO			
PROPRIETÁRIO: ERIVALDO PEREIRA DO NASCIMENTO FILHO PROPRIETÁRIO		CONTEÚDO: - CORTE LONGITUDINAL - Planta de Locação de Eixos	
PROJETO/DESENHO: Erivaldo Pereira			
REVISÃO:	MODIFICAÇÃO:	DATA:	DATA: DEZ/2025
			ESCALA: CONFORME INDICADO
OBS:			

PRANCHA:
01/02



I.F.P.I INSTITUTO FEDERAL DO PIAUÍ			
PROJETO - TCC 2			
PROJETO: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO			
ENDEREÇO: AV. PEDRO FREITAS, 1020, SÃO PEDRO			
PROPRIETÁRIO: ERIVALDO PEREIRA DO NASCIMENTO FILHO PROPRIETÁRIO		CONTEÚDO: - CORTE LONGITUDINAL - PLANTA DE FORMAS	
PROJETO/DESENHO: Erivaldo Pereira			
REVISÃO:	MODIFICAÇÃO:	DATA:	PRANCHA:
		DEZ/2025	02/02
		ESCALA: CONFORME INDICADO	
OBS:			

