

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MATHEUS VITÓRIA RODRIGUES**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO  
ARMADO E PROTENDIDO EM UM EMPREENDIMENTO  
MULTIFAMILIAR**

**FLORIANÓPOLIS, 2025.**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MATHEUS VITÓRIA RODRIGUES**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO  
ARMADO E PROTENDIDO EM UM EMPREENDIMENTO  
MULTIFAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa  
Catarina como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador:  
Prof. Fernando Toppan Rabello, doutor

**FLORIANÓPOLIS, 2025.**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Rodrigues, Matheus  
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO  
ARMADO E PROTENDIDO EM UM EMPREENDIMENTO MULTIFAMILIAR / Matheus  
Rodrigues; orientação de Fernando Rabello.  
- Florianópolis, SC, 2025.  
82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal  
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado  
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico  
de Construção Civil.  
Inclui Referências.

1. Concreto Protendido. 2. Concreto Armado. 3. Análise  
Comparativa. 4. Laje Lisa. I. Rabello, Fernando.  
II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. ANÁLISE  
COMPARATIVA ENTRE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO ARMADO  
E PROTENDIDO EM UM EMPREENDIMENTO MULTIFAMILIAR.

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO ARMADO E  
PROTENDIDO EM UM EMPREENDIMENTO MULTIFAMILIAR DE ALTO PADRÃO**

**MATHEUS VITÓRIA RODRIGUES**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil em 2025 e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Bacharelado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 17 de dezembro, 2025.

Banca Examinadora:

---

Fernando Toppan Rabello, Doutor  
Instituto Federal de Santa Catarina

---

Andre Puel, Doutor  
Instituto Federal de Santa Catarina

---

Márcia Maria Machado Steil, Mestre  
Instituto Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio e dedicação em todas as etapas da minha vida. Em especial ao meu pai, engenheiro civil, cuja trajetória e paixão pela profissão me inspiraram a seguir o mesmo caminho. Cada conquista desta jornada carrega a influência, o incentivo e os ensinamentos de vocês.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, pela base que sempre me ofereceram, por todo o apoio e conselhos.

Ao meu professor orientador, Fernando Toppan Rabello, expresso minha profunda gratidão pela orientação e pelos ensinamentos que contribuíram decisivamente para a conclusão deste trabalho.

Aos membros da banca, André Puel e Márcia Steil, agradeço pela disponibilidade, pelas contribuições e pelo olhar crítico que enriquecem este estudo.

Estendo meus agradecimentos a todos que passaram pela minha trajetória acadêmica e profissional, colegas, professores e equipes de trabalho que, direta ou indiretamente, colaboraram para minha evolução pessoal e técnica. Cada experiência compartilhada foi essencial para que eu chegasse até aqui.

## RESUMO

O concreto armado consolidou-se como o sistema estrutural mais utilizado na construção civil brasileira, sobretudo em edificações residenciais e comerciais, em função de sua versatilidade, resistência e amplo domínio técnico. Contudo, alternativas como o concreto protendido vêm sendo cada vez mais empregadas, principalmente em empreendimentos que exigem maior eficiência estrutural, racionalização construtiva e liberdade arquitetônica. Nesse contexto, este trabalho apresentou uma análise comparativa entre lajes maciças em concreto armado com vigas e lajes maciças planas protendidas com vigas predominantemente perimetrais, aplicadas a um empreendimento multifamiliar de alto padrão. A metodologia consistiu no lançamento estrutural do edifício em concreto armado e na análise comparativa com a solução protendida previamente modelada, mantendo-se o mesmo projeto arquitetônico. Ambas as soluções foram avaliadas por meio do software TQS, conforme os critérios da ABNT NBR 6118:2023, permitindo a obtenção de parâmetros como flechas, estabilidade global, plantas de cargas, consumo de materiais e custos estimados. Os resultados indicaram que a solução protendida apresentou melhor desempenho quanto ao controle das deformações e maior regularidade estrutural, em razão da combinação entre protensão e aumento da espessura das lajes, além de proporcionar maior flexibilidade arquitetônica. Do ponto de vista quantitativo, observou-se menor custo global da solução protendida, mesmo com maior volume de concreto, devido à racionalização estrutural e à redução de vigas e pilares. Concluiu-se que ambas as soluções são tecnicamente viáveis, porém a solução em concreto protendido mostrou-se superior sob a ótica estrutural, econômica e arquitetônica para o empreendimento analisado.

**Palavras-chave:** Laje Lisa. Concreto Protendido. Concreto Armado. Análise Comparativa.

## ABSTRACT

Reinforced concrete has become the predominant structural system in Brazilian civil construction, especially in residential and commercial buildings, due to its versatility, strength, and widespread technical expertise. However, alternative systems such as prestressed concrete have increasingly been adopted, particularly in developments that require greater structural efficiency, construction rationalization, and architectural flexibility. In this context, this study presented a comparative analysis between solid reinforced concrete slabs with beams and flat solid prestressed slabs with predominantly perimeter beams, applied to a high-standard multifamily building. The methodology consisted of developing the structural layout of the building in reinforced concrete and performing a comparative analysis with a previously modeled prestressed solution, while maintaining the same architectural design. Both solutions were evaluated using the TQS software in accordance with the criteria established by ABNT NBR 6118:2023, allowing the extraction of parameters such as deflections, global stability, load plans, material consumption, and estimated costs. The results indicated that the prestressed solution presented better performance in terms of deflection control and greater structural regularity, due to the combined effect of prestressing and increased slab thickness, in addition to providing greater architectural flexibility. From a quantitative standpoint, a lower overall cost was observed for the prestressed solution, even with a higher concrete volume, as a result of structural rationalization and the reduction of beams and columns. It was concluded that both solutions are technically feasible; however, the prestressed concrete solution proved to be superior from structural, economic, and architectural perspectives for the analyzed building.

**Keywords:** Smooth Slab. Prestressed Concrete. Reinforced Concrete. Comparative Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Planta baixa pilotis	20
Figura 2 –Planta baixa intermediário	21
Figura 3 –Planta baixa 2° pavimento	21
Figura 4 – Planta baixa pavimento tipo	22
Figura 5 – Planta baixa cobertura	22
Figura 6 – Corte AA	23
Figura 7 – Vista frontal Ybá	23
Figura 8 – Vista posterior Ybá	23
Figura 9 – Perspectiva Ybá	24
Figura 10 – Planta de situação	25
Figura 11 - Pavimento pilotis solução em concreto armado	27
Figura 12 - Pavimento intermediário solução em concreto armado	27
Figura 13 - 2° pavimento solução em concreto armado	27
Figura 14 - Pavimento tipo solução em concreto armado	28
Figura 15 - Laje técnica solução em concreto armado	28
Figura 16 - Pavimento cobertura solução em concreto armado	28
Figura 17 - Barrilete solução em concreto armado	28
Figura 18 - Reservatório solução em concreto armado	29
Figura 19 - Tampa do reservatório solução em concreto armado	29
Figura 21 – Fck adotado no TQS	32
Figura 22 – Cobrimento utilizado no TQS	33
Figura 23 - Isopletas da velocidade básica $V_0$ (m/s)	34
Figura 24 - Coeficientes de vento adotado no TQS	35
Figura 25 - Disposição da armadura de punção em planta e contorno da superfície crítica C”	38
Figura 26 - Disposição da armadura de punção em corte	38

Figura 27 - Armadura contra colapso progressivo	39
Figura 37 - Pavimento pilotis solução em concreto protendido	43
Figura 38 - Pavimento intermediário solução em concreto protendido	44
Figura 39 - 2° pavimento solução em concreto protendido	44
Figura 40 - Pavimento tipo solução em concreto protendido	44
Figura 41 - Laje técnica solução em concreto protendido	45
Figura 42 - Pavimento cobertura solução em concreto protendido	45
Figura 43 - Barrilete solução em concreto protendido	45
Figura 44 - Reservatório solução em concreto protendido	46
Figura 45 - Tampa do reservatório solução em concreto protendido	46
Figura 46 - $\gamma Z$ Solução em concreto armado	48
Figura 47 - $\gamma Z$ Solução em concreto protendido	49
Figura 48 – Efeitos de 2° ordem CA	50
Figura 49 - Efeitos de 2° ordem CP	51
Figura 50 - Flecha pavimento pilotis solução em concreto armado	53
Figura 51 - Flecha pavimento piso intermediário solução em concreto armado	53
Figura 52 - Flecha 2° pavimento solução em concreto armado	54
Figura 53 - Flecha pavimento tipo solução em concreto armado	54
Figura 54 - Flecha laje técnica solução em concreto armado	55
Figura 55 - Flecha pavimento cobertura solução em concreto armado	55
Figura 56 - Flecha barrilete solução em concreto armado	56
Figura 57 - Flecha reservatório solução em concreto armado	56
Figura 58 - Flecha tampa do reservatório solução em concreto armado	57
Figura 59 - Flecha pavimento pilotis solução em concreto protendido	58
Figura 60 - Flecha pavimento piso intermediário solução em concreto armado	59
Figura 61 - Flecha 2° pavimento solução em concreto armado	59
Figura 62 - Flecha pavimento tipo solução em concreto armado	60

Figura 63 - Flecha laje técnica solução em concreto armado	60
Figura 64 - Flecha pavimento cobertura solução em concreto armado	61
Figura 65 - Flecha barrilete solução em concreto armado	61
Figura 66 - Flecha reservatório solução em concreto armado	62
Figura 67 - Flecha tampa do reservatório solução em concreto armado	62
Figura 68 -Taxa de armadura dos pilares	66
Figura 69 -Dados da laje do pavimento tipo e pilar 7	69
Figura 70 - Dados das armaduras	70
Figura 71 - Detalhamento e dados de cálculo	71
Figura 72 -Critérios para perdas da força de protensão	72

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Flecha máxima CA e CP	63
Gráfico 2 – Peso total edificação	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe de Agressividade ambiental	31
Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	31
Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento	32
Tabela 4 - Limites para deslocamentos	36
Tabela 5 - Custo dos insumos	75

## Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA	Concreto Armado
CP	Concreto Protendido
MPa	Megapascal
FCK	Resistência característica à compressão do concreto
$\gamma_z$	Gama-z
ton	Tonelada
$m^3$	metros cúbicos
tf/m	Tonelada força por metro
tf/m <sup>2</sup>	Tonelada força por metro quadrado
$\tau_{Sd}$	Tensão de cisalhamento solicitante de cálculo
$\tau_{Rd1}$	Tensão de cisalhamento resistente de cálculo-limite, para que uma laje possa prescindir de armadura transversal para resistir à força cortante
FSd	Força ou reação de punção de cálculo

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1 Justificativa	18
<b>2 DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO</b>	<b>19</b>
2.1 Projeto arquitetônico	19
2.2 Localização do empreendimento	23
2.3 Formas estruturais solução em concreto armado	24
<b>3 DESENVOLVIMENTO</b>	<b>29</b>
3.1 Carga lineares	29
3.2 Normas brasileiras	29
3.2.1 Agressividade ambiental	29
3.2.2 Carga de vento	32
3.2.3 Flecha	34
3.2.4 Estabilidade global	35
3.2.5 Armadura de punção	36
3.2.6 Colapso progressivo	38
3.3 Concepção estrutural	38
<b>4 DIMENSIONAMENTO</b>	<b>40</b>
4.1 Forma estrutural	41
4.2 Estabilidade global	46
4.3 Flechas	51
4.4 Taxa de armadura	63
4.5 Planta de carga	65
4.6 Armadura de punção e colapso progressivo	67
4.7 Perdas da força de protensão	70
4.8 Análise qualitativa	71
4.9 Análise quantitativa	73
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>74</b>
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	76
<b>6 REFERÊNCIAS</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE A - Arquitetura pavimento pilotis e intermediário</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICE B - Arquitetura 2º pavimento e tipo</b>	<b>85</b>
<b>APÊNDICE C - Arquitetura pavimento cobertura</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICE D - Planta de carga concreto armado</b>	<b>87</b>
<b>APÊNDICE E - Planta de carga concreto protendido</b>	<b>88</b>
<b>APÊNDICE F - Forma pilotis e pavimento intermediário - CA</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICE G - Forma 2 pavimento e pavimento tipo - CA</b>	<b>90</b>
<b>APÊNDICE H - Forma laje técnica e pavimento cobertura - CA</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE I - - Forma barrilete e reservatório CA</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE J - Forma pilotis e pavimento intermediário - CP</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE K - Forma 2º pavimento e pavimento tipo - CP</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE L - Forma laje técnica e pavimento cobertura - CP</b>	<b>95</b>

<b>APÊNDICE M - Forma barrilete, reservatório e tampa reservatório - CP</b>	<b>116</b>
<b>APÊNDICE N - Cargas nos pilares do pav. tipo para cálculo da punção e colapso progressivo</b>	<b>117</b>
<b>APÊNDICE O - Forma pavimento tipo com os cabos protendidos e análise de uma faixa protendida</b>	<b>118</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A engenharia civil tem vivenciado grandes transformações nas últimas décadas, impulsionadas pelos avanços tecnológicos e pela crescente utilização de ferramentas de informática. No campo das estruturas, todas as fases do projeto de um edifício são direta ou indiretamente beneficiadas pela agilidade e precisão proporcionadas por tais recursos, resultando em ganhos expressivos de qualidade e segurança (KIMURA, 2007).

De acordo com Santos (2006), nenhum outro país modernizado adotou de forma tão predominante a tecnologia do concreto armado quanto o Brasil, onde esse sistema continua sendo amplamente utilizado nas edificações urbanas, tanto residenciais quanto prediais.

A ampla utilização do concreto armado nas construções brasileiras está relacionada à excelente compatibilidade entre concreto e aço, o que permite a formação de estruturas monolíticas e hiperestáticas. Outras vantagens também são destacadas, como: a adaptação a diferentes formas, facilidade de execução, resistência a variações térmicas, ações atmosféricas e desgastes mecânicos (Fajersztajn, 1987).

Entre as inovações estruturais, destaca-se a protensão, uma técnica que consiste na aplicação de tensões ao concreto em suas idades iniciais, por meio de cabos de aço envolvidos por materiais protetores. De acordo com Pfeil (1984) trata-se de um artifício para introduzir um estado prévio de tensões, buscando melhorar a resistência e o desempenho da estrutura frente às diversas solicitações atuantes.

Dentre as principais vantagens do concreto protendido em relação ao concreto armado é a redução significativa, ou até mesmo a eliminação, de fissurações, desde que a protensão seja executada de maneira adequada, reduzindo ou anulando as tensões de tração no concreto. Tais características favorecem não apenas o desempenho estrutural mas também proporcionam a possibilidade de vencer vãos maiores, permitindo uma melhor locação dos pilares e a adoção de lajes com espessuras reduzidas, o que favorece soluções arquitetônicas mais flexíveis (CARVALHO, 2012).

Além dos benefícios estruturais, o sistema protendido oferece vantagens construtivas relevantes, como a racionalização do processo executivo quando

comparado ao método convencional. Dentre os aspectos construtivos, destaca-se a racionalização do processo executivo, que torna mais ágeis e simples etapas como a produção e montagem das fôrmas, redução de escoramento, a preparação das armaduras, a concretagem e a execução das instalações prediais (MELLO, 2005).

No comparativo entre o sistema convencional com o sistema protendido, a comprovação da redução nas seções de concreto e nas taxas de armadura evidencia uma menor demanda por matéria-prima, o que contribui significativamente para a mitigação de impactos ambientais, reduzindo desperdícios e promovendo práticas construtivas mais sustentáveis. Além disso, o uso de elementos estruturais mais leves resulta na diminuição dos custos com transporte e, conseqüentemente, na menor emissão de gases poluentes provenientes dos veículos utilizados nesse processo (INFORSATO, 2009)

Para Buchaim (2007) a utilização do aço de protensão para aprimorar as propriedades resistentes do concreto, especialmente em estruturas pré-fabricadas, configura-se como uma alternativa altamente eficiente entre os sistemas estruturais disponíveis atualmente no setor da construção civil. No entanto, a adoção dessa técnica exige que o engenheiro tenha pleno conhecimento sobre o sistema empregado, pois, na ausência desse domínio, a solução pode deixar de ser vantajosa. Assim, visando sempre a escolha do sistema construtivo mais adequado a cada projeto, torna-se fundamental compreender o ponto a partir do qual o sistema protendido deixa de ser viável em comparação ao sistema convencional.

A utilização de concretos com maiores resistências e melhor controle tecnológico contribui para a redução dos custos de manutenção das estruturas protendidas, tanto pré-fabricadas quanto moldadas in loco, além de proporcionar o aumento da vida útil das edificações. De acordo com Bastos (2025) o concreto protendido e o concreto armado não devem ser vistos como sistemas concorrentes, mas sim como soluções complementares, cada uma adequada a determinadas funções e aplicações. Em razão da sua capacidade de vencer grandes vãos, o CP apresenta maior competitividade em relação às estruturas metálicas do que propriamente ao CA, destacando-se ainda pelas vantagens inerentes ao concreto, como maior resistência ao fogo, melhor isolamento térmico, baixa necessidade de manutenção e ampla versatilidade de aplicação.

Segundo Yopanan (1999), a concepção estrutural de um edifício demanda a seleção criteriosa de sistemas estruturais básicos e suas associações, levando em conta critérios funcionais, construtivos e estéticos. Essa escolha deve considerar a tipologia da edificação e seus condicionantes arquitetônicos, permitindo a construção de soluções coerentes com a hierarquia de necessidades do projeto. O processo de concepção ganha profundidade à medida que múltiplos esquemas são testados, revisados e combinados, favorecendo decisões mais consistentes. A definição da tipologia estrutural ideal não segue regras absolutas, mas sim a busca pela solução mais adequada a cada caso, considerando os requisitos de estabilidade, desempenho e integração com os demais sistemas da edificação.

O objetivo deste trabalho é relançar o projeto estrutural de um empreendimento multifamiliar, originalmente concebido em concreto armado convencional composto por vigas e lajes maciças, realizando uma nova concepção estrutural com foco no melhor aproveitamento da estrutura, mediante a substituição da tipologia inicial por laje lisa (sem vigas) protendida usando cordoalha engraxada, com o intuito de comparar as diferenças entre as plantas de cargas e quantidade de fundação, flechas, volume de concreto, consumo de aço, quantidade de vigas e pilares, fundamentando os critérios adotados para o novo lançamento.

## **1.1 Justificativa**

A escolha do sistema estrutural exerce influência direta sobre diversos aspectos do projeto, como o dimensionamento de vigas, a disposição de pilares, o comportamento das deformações, compatibilização com a arquitetura e projetos complementares.

O concreto protendido ainda é utilizado em escala reduzida no Brasil, especialmente quando comparado ao concreto armado, que permanece como a solução predominante em projetos estruturais. Essa situação revela um atraso considerável na adoção da protensão no país, tanto em termos de pesquisa quanto de estruturas executadas, refletindo desafios culturais e técnicos relacionados à sua disseminação (ZILLI; BORTOLOTTI, 2013).

Ao propor um novo lançamento estrutural de um empreendimento já concebido com lajes maciças e vigas em concreto armado, busca evidenciar, de forma prática e aplicada, os benefícios e limitações da protensão, considerando parâmetros

relevantes como plantas de cargas, flechas, volume de concreto, consumo de aço, a redução do número de vigas, pilares e fundação. Além disso, ao explicitar os critérios utilizados na redefinição da estrutura, busca-se demonstrar de maneira clara e lógica a viabilidade técnica da nova concepção estrutural com o uso da protensão.

A relevância do tema também se destaca diante do contexto atual da construção civil, no qual se busca, cada vez mais, soluções que alinhem desempenho técnico, racionalização construtiva e sustentabilidade. A possibilidade de redução no consumo de materiais e na geração de resíduos, decorrente da adoção da protensão, representa um avanço não apenas técnico, mas também ambiental.

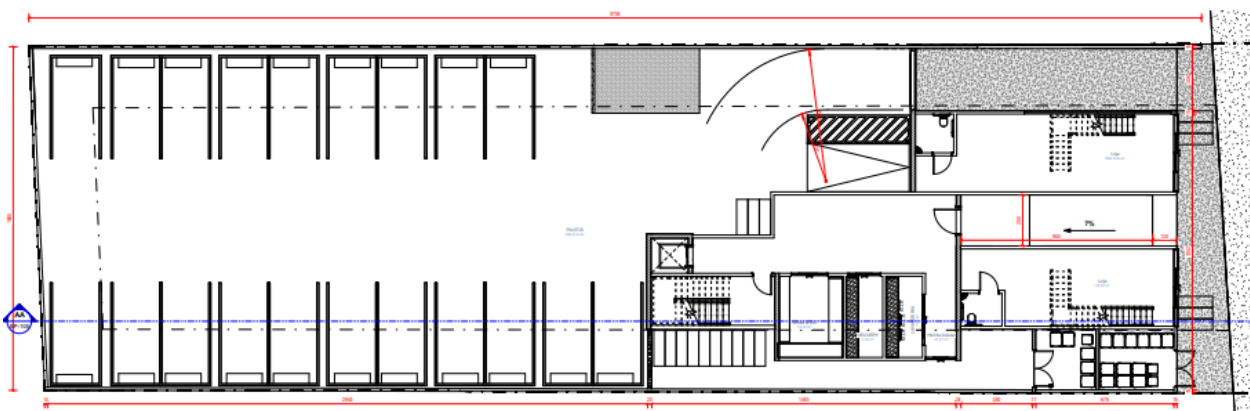
## 2 DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO

### 2.1 Projeto arquitetônico

O empreendimento Ybá é um edifício multifamiliar de alto padrão, concebido para uso residencial e comercial, com foco na integração entre funcionalidade e conforto. A edificação é composta por dez níveis estruturais, distribuídos entre pavimentos residenciais, técnicos e de uso comum, totalizando uma área construída de 4.872,15 m<sup>2</sup>.

O pavimento pilotis, correspondente ao 1° pavimento, destina-se às áreas de estacionamento, bicicletário, zeladoria, depósitos e acesso principal, com planta livre que favorece a circulação e a integração visual.

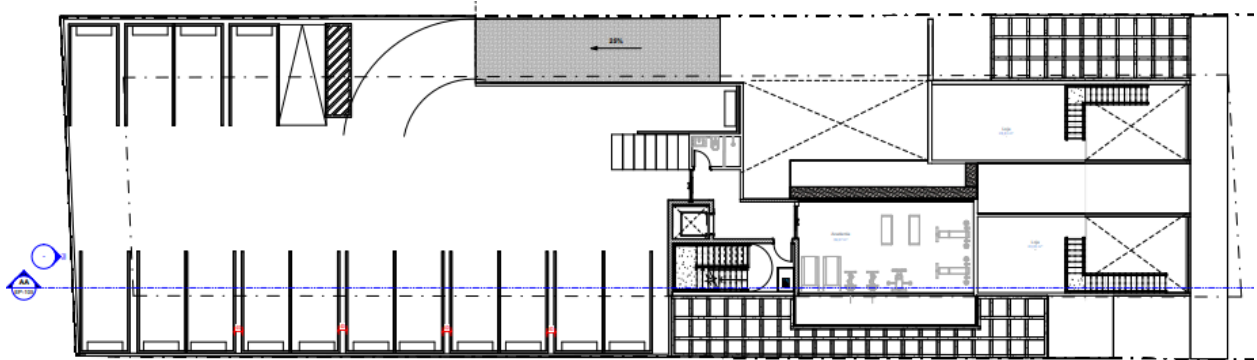
Figura 1 –Planta baixa pilotis



Fonte: Autoria Própria(2025).

Acima deste, o pavimento intermediário abriga ambientes de uso comum, como academia, sobrelojas, halls e vestiários, configurando-se como um espaço de apoio entre o pilotis e os pavimentos habitacionais.

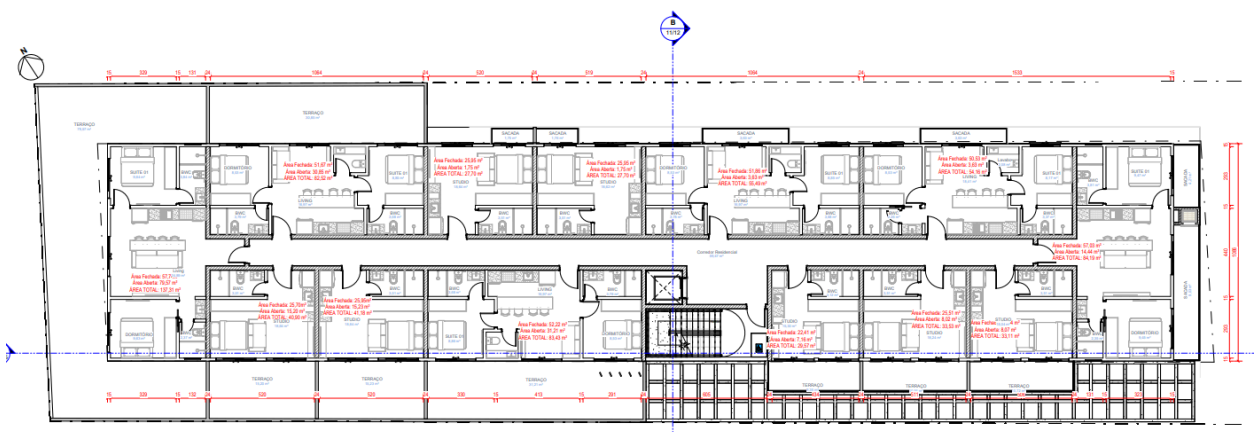
**Figura 2 –Planta baixa intermediário**



Fonte: Autoria Própria(2025).

O 2º pavimento concentra exclusivamente unidades residenciais, seguindo a mesma lógica modular e simétrica adotada nos pavimentos superiores, com uma diferença de que alguns apartamentos possuem terraço. Neste nível, distribuem-se diferentes tipologias de apartamentos, incluindo studios, unidades de um dormitório, dois dormitórios e suítes, cujas áreas variam conforme as necessidades funcionais de cada configuração. O pavimento apresenta organização racional, com circulação central que dá acesso às unidades ao longo de todo o corredor, garantindo eficiência espacial e facilidade de orientação.

**Figura 3 –Planta baixa 2º pavimento**

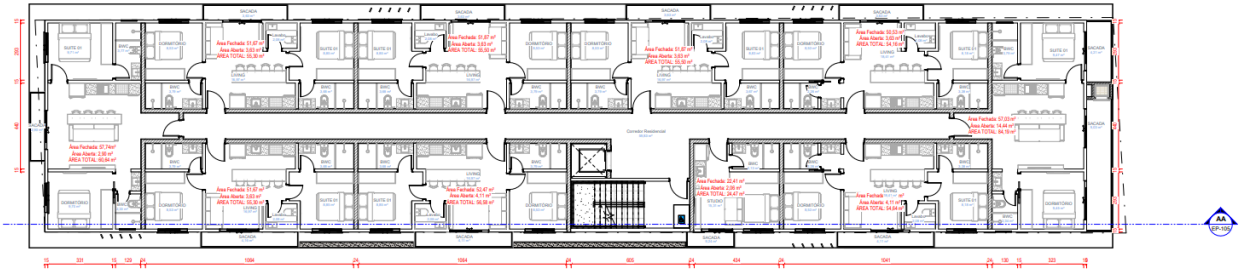


Fonte: Autoria Própria(2025).

Os pavimentos tipo, que se estendem do 3º ao 5º pavimento, concentram as unidades residenciais, com diferentes tipologias de apartamentos, sendo eles studios,

unidades de um e dois dormitórios e suítes, variando entre 23,9 m<sup>2</sup> e 84,9 m<sup>2</sup>. Esses pavimentos apresentam layout simétrico e modular.

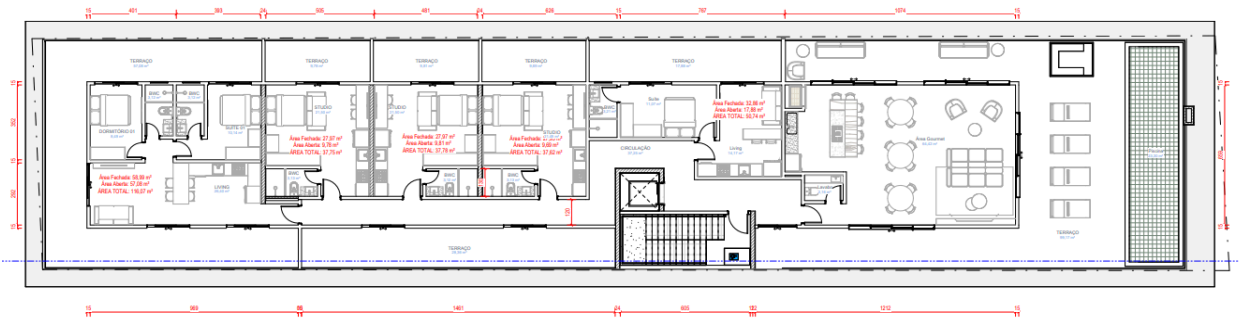
**Figura 4 –Planta baixa pavimento tipo**



Fonte: Autoria Própria(2025).

O pavimento de cobertura abriga áreas de lazer e convivência, como terraços, piscina, espaço gourmet e coworking, totalizando 578,37 m<sup>2</sup>. Acima da cobertura, localizam-se os pavimentos técnicos, compostos pelo barrilete e pelo reservatório, ambos com cerca de 23,77 m<sup>2</sup> cada, destinados aos sistemas hidráulicos, elétricos e de pressurização.

**Figura 5 –Planta baixa cobertura**



Fonte: Autoria Própria(2025).



**Figura 9 – Perspectiva Ybá**

Fonte: Autoria Própria(2025).

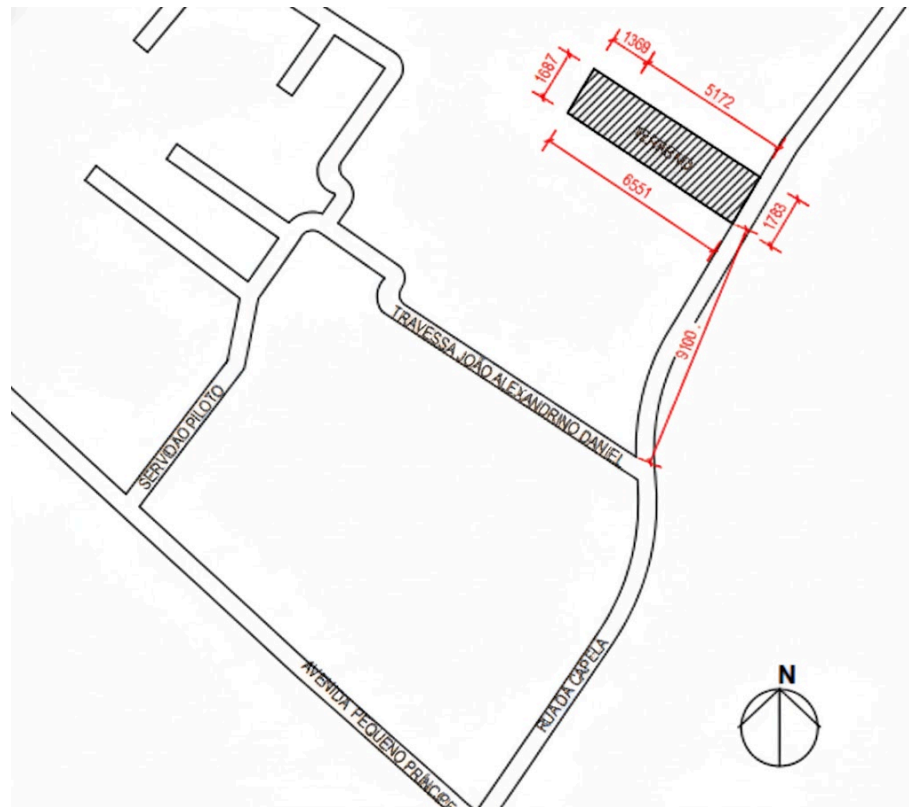
As plantas baixas além de estarem apresentadas acima, também constam nos apêndices em uma folha maior para melhor visualização.

## **2.2 Localização do empreendimento**

O empreendimento Ybá está localizado na Rua da Capela, nº 261, Bairro Campeche, no município de Florianópolis, Santa Catarina. A planta de situação evidencia que o terreno possui geometria regular.

A região do Campeche é reconhecida por seu rápido crescimento urbano e valorização imobiliária, impulsionada pela proximidade com a orla e pela infraestrutura local consolidada, composta por vias pavimentadas, comércio variado, áreas verdes e equipamentos públicos. A escolha do local é estratégica, considerando-se a demanda por empreendimentos residenciais de alto padrão e o perfil arquitetônico moderno da região. O terreno está posicionado em via de fácil acesso e com orientação privilegiada, permitindo adequada incidência solar e ventilação natural, fatores que contribuem para o conforto ambiental das unidades.

Figura 10 – Planta de situação



Fonte: Autoria Própria(2025).

### 2.3 Formas estruturais solução em concreto armado

A solução em concreto armado que assim como o projeto arquitetônico, também foi utilizado de base para desenvolver a solução em concreto protendido, utiliza predominantemente lajes maciças com  $h = 16$  cm de espessura, porém em alguns pontos variam entre 14 cm, 20 cm e 22 cm, conforme as necessidades específicas de cada pavimento. Nos pavimentos tipo e cobertura, lajes com 14 cm de espessura foram predominantes, na laje técnica prevaleceu lajes de 22 cm, enquanto no pilotis, piso intermediário, 2º pavimento barrilete, reservatório e tampa do reservatório, prevaleceu lajes com espessuras de 16 cm, proporcionando a resistência necessária sem recorrer ao aumento significativo da altura das lajes.

A distribuição dos pilares nas pranchas segue alinhamento compatível com o projeto arquitetônico, com pilares periféricos nas fachadas e pilares internos posicionados para suportar vãos menores, característica típica de estruturas em concreto armado. Os pilares apresentam diversas dimensões, ajustadas conforme os níveis de carga e continuidade vertical, garantindo eficiência na transferência dos

esforços gravitacionais até a fundação. A presença dos dois pilares do núcleo do elevador se destaca, uma vez que eles atuam como núcleo rígido, contribuindo significativamente para a estabilidade global da edificação frente às ações horizontais.

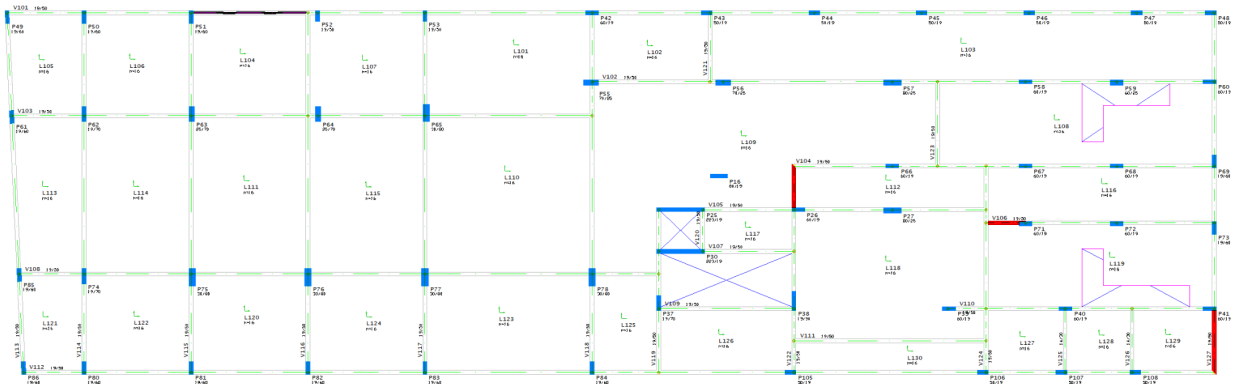
No que diz respeito às vigas, o sistema em concreto armado apresenta uma quantidade substancialmente maior quando comparado ao modelo protendido. As pranchas evidenciam vigas distribuídas em praticamente todo o pavimento, com diferentes alturas e larguras. Essas vigas desempenham papel fundamental no funcionamento do pórtico estrutural, garantindo rigidez, transmitindo cargas para os pilares e limitando as deformações das lajes mais esbeltas. Por se tratar de um modelo clássico de concreto armado, a presença contínua de vigas auxilia no controle de flechas e fissuração, além de contribuir para o sistema de contraventamento, que é majoritariamente garantido pelo conjunto viga–pilar.

Um ponto crítico e importante nas pranchas é a presença das vigas de transição no segundo pavimento, necessárias devido à configuração das garagens no piso inferior. Como algumas posições de pilares do pavimento tipo não podem ser mantidas no pavimento térreo/pilotis por questões de circulação de veículos, essas cargas precisam ser transferidas através de vigas de grande porte. As pranchas do 2º pavimento deixam isso claro ao apresentar vigas robustas, com seções maiores que as vigas usuais do edifício, responsáveis por distribuir os carregamentos dos pilares superiores para os apoios disponíveis. Essas vigas de transição são indispensáveis para viabilizar simultaneamente o layout da garagem e a continuidade estrutural da edificação.

Assim, as pranchas estruturais da solução em concreto armado evidenciam uma estrutura convencional, composta por lajes mais delgadas, grande quantidade de vigas e distribuição coerente dos pilares, com destaque para a função essencial das vigas de transição no segundo pavimento. O conjunto demonstra um sistema estrutural eficiente, adequado à tipologia escolhida e compatível com as exigências da arquitetura e das normas vigentes.

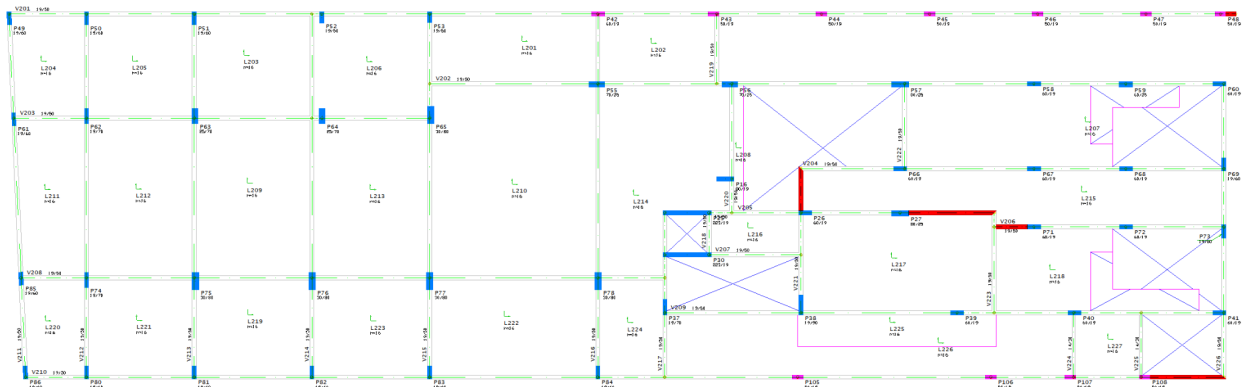
As formas além de estarem apresentadas abaixo, também constam nos apêndices em uma folha maior para melhor visualização.

**Figura 11 - Pavimento pilotis solução em concreto armado**



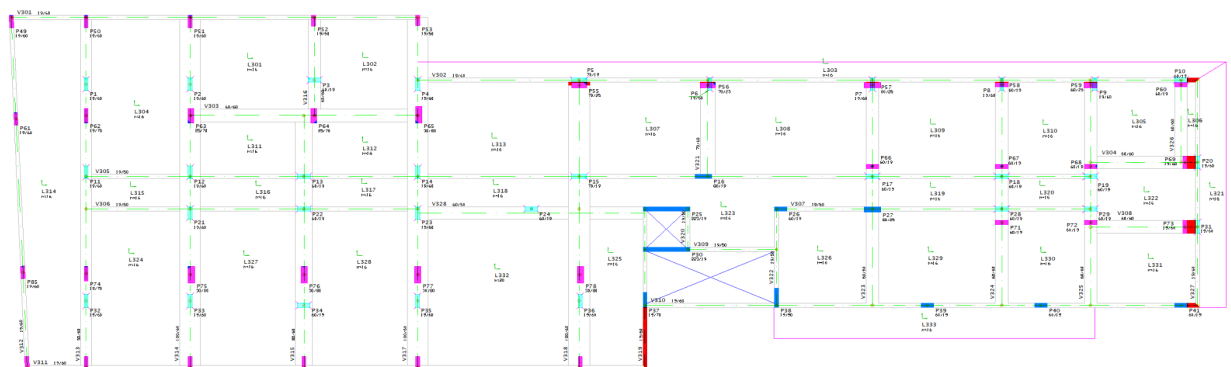
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 12 - Pavimento intermediário solução em concreto armado**



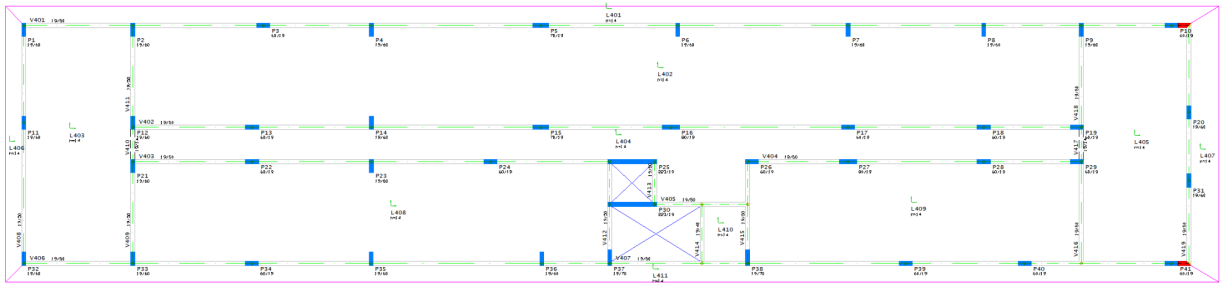
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 13 - 2º pavimento solução em concreto armado**



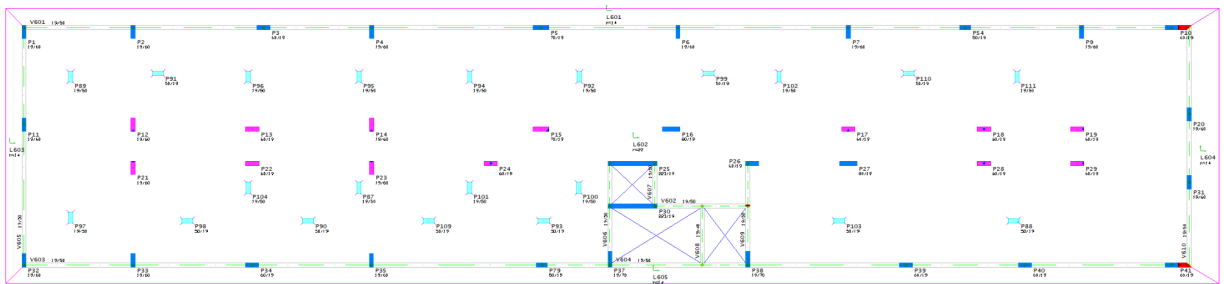
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 14 - Pavimento tipo solução em concreto armado**



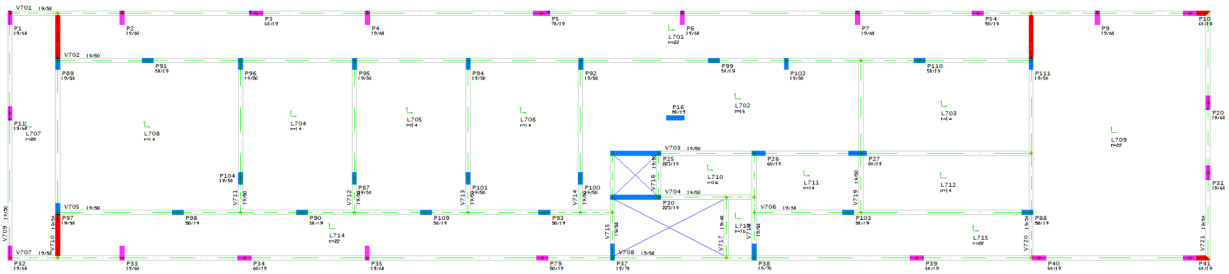
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 15 - Laje técnica solução em concreto armado**



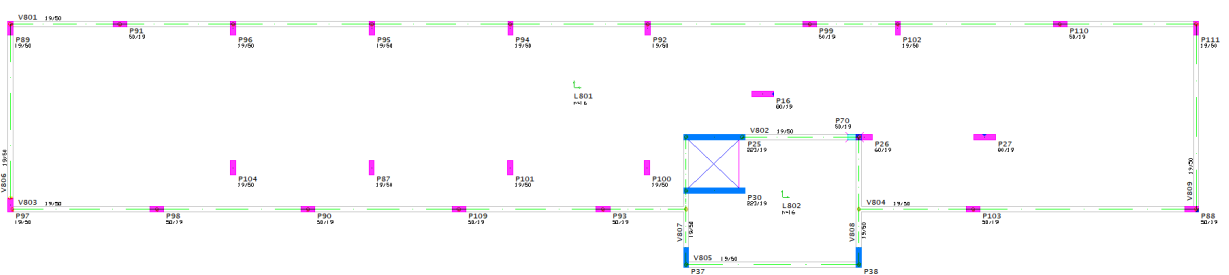
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 16 - Pavimento cobertura solução em concreto armado**



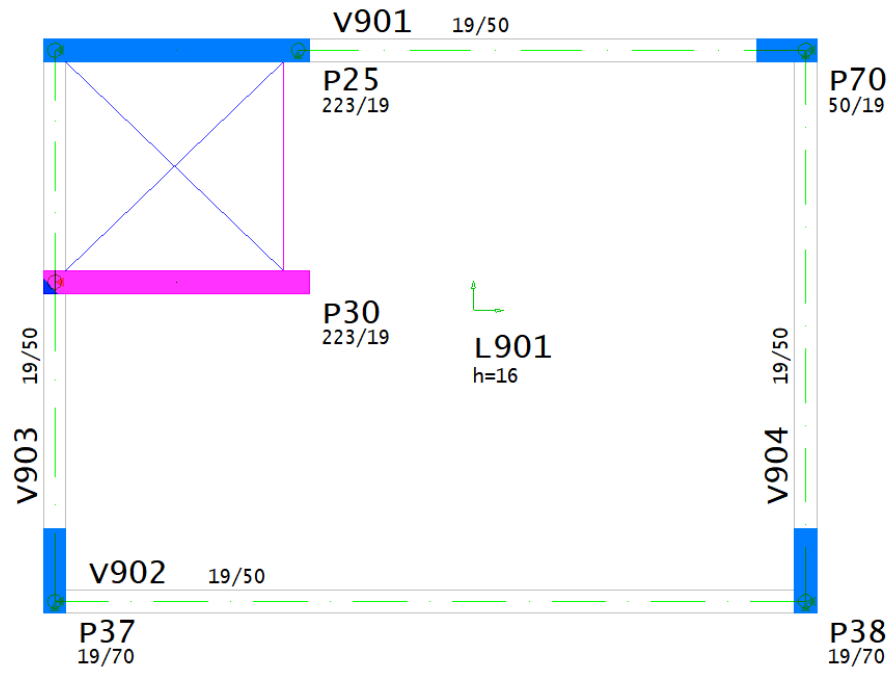
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 17 - Barrilete solução em concreto armado**



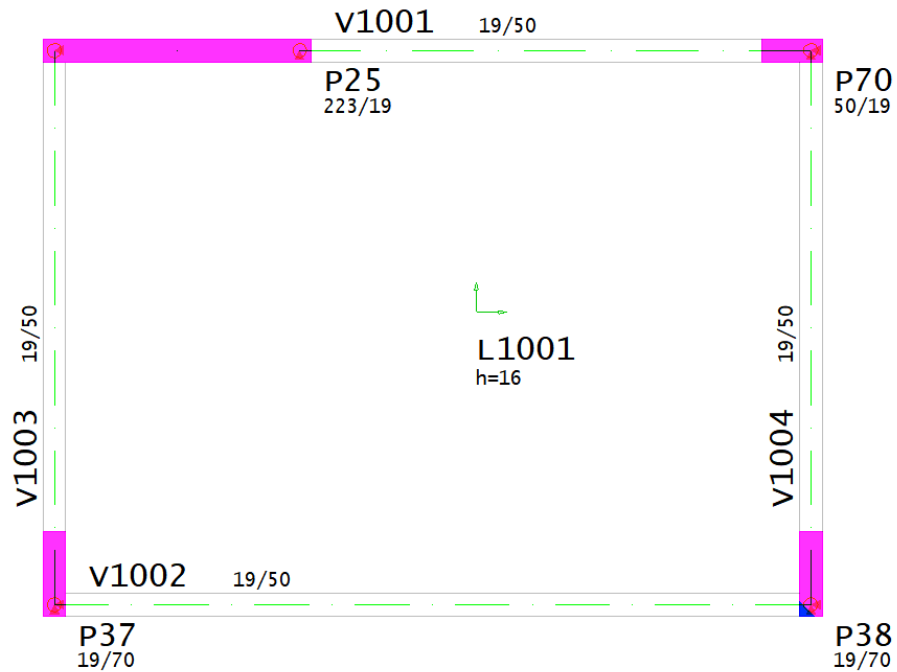
Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 18 - Reservatório solução em concreto armado



Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 19 - Tampa do reservatório solução em concreto armado



Fonte: Autoria Própria (2025).

### **3 DESENVOLVIMENTO**

Na sequência será apresentada a abordagem adotada para o desenvolvimento das análises estruturais ao longo deste trabalho. Inicialmente, descreve-se as normas técnicas utilizadas como referência para todo o processo de modelagem e dimensionamento, com ênfase nas diretrizes definidas pela ABNT NBR 6118:2023 e por fim, é detalhada a concepção estrutural adotada na solução em concreto protendido, abordando critérios de escolha e fundamentos que orientaram a modelagem dos sistemas.

#### **3.1 Carga lineares**

Para escolha das cargas aplicadas nos projetos, separou-se em grupos:

- Alvenaria = 0,7 tf/m
- Piscina = 1,4 tf/m<sup>2</sup>
- Reservatório (2 reservatórios) = 2 \* 17,16 m<sup>3</sup> = 34,32 m<sup>3</sup>

#### **3.2 Normas brasileiras**

Para realização do projeto estrutural do empreendimento nas duas concepções propostas, foi necessário definir previamente alguns parâmetros normativos presentes nas normas NBR 6118 e NBR 6123.

##### **3.2.1 Agressividade ambiental**

A edificação, por ser de caráter residencial e comercial e estar localizada em uma região exposta ao ambiente marinho, é considerada como um local de forte agressividade, classe III, apresentando um grande risco de deterioração da estrutura ao longo de sua vida útil de 50 anos, conforme a Tabela 01.

Tabela 01 – Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submerso	
II	Moderada	Urbano <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinho <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas, elementos em contato com solo contaminado ou água subterrânea contaminada

Fonte: NBR 6118 (2023).

Com a classe de agressividade definida, tornou-se possível escolher a classe de concreto, atendendo às exigências normativas, de acordo com a tabela 02. Optou-se pela utilização da classe do concreto de C35 ( $f_{ck} = 350 \text{ kgf/cm}^2$ ), tanto para solução em concreto armado quanto para concreto protendido.

Tabela 02 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (2023).

Figura 21– Fck adotado no TQS

Gerais	Modelo	Pavimentos	Materiais	Cobrimentos	Cargas	Cr�terios	Gerenciamento								
Modo de fornecimento de fck <input type="radio"/> Definir valores em MPa <input checked="" type="radio"/> Usar somente valores tabelados				fcks gerais <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Classe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vigas/Lajes</td> <td>C35</td> </tr> <tr> <td>Pilares</td> <td>C35</td> </tr> <tr> <td>Funda�es</td> <td>C35</td> </tr> </tbody> </table>					Classe	Vigas/Lajes	C35	Pilares	C35	Funda�es	C35
	Classe														
Vigas/Lajes	C35														
Pilares	C35														
Funda�es	C35														
Concreto para elementos estruturais em: <input checked="" type="radio"/> Concreto armado <input type="radio"/> Concreto protendido				<input type="checkbox"/> Desativar a verifica�o de fck m�nimo											

Fonte: Autoria Própria (2025).

Ainda considerando a classe de agressividade adotada, o cobrimento nominal para os elementos estruturais foi respeitado de acordo com a NBR 6118, conforme demonstrado na tabela 03.

Para a soluço em concreto armado, o fck foi superior ao mínimo exigido pela norma, por esta razão o cobrimento foi reduzido 5 mm, conforme especificado pela NBR 6118 (2023) no item 7.4.7.6.

Tabela 03 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga <sup>b</sup> /pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, esta es de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de funda o, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: NBR 6118 (2023).

Figura 22- Cobrimento utilizado no TQS

Cobrimentos (cm)		Inferior	Superior	Diferença secundária	
Lajes em geral		3	3	1	1
Lajes protendidas		3.5	3.5	1	
Vigas		3.5			
Pilares		3.5			
Fundações		5		1	

Cobrimento de elementos em contato com o solo (cm)	
Vigas e lajes	5
Pilares	5

Verificação de cobrimentos mínimos	
Maior altura de <u>b</u> ainha	60 mm
Maior bitola de viga/pilar	25 mm
Maior bitola de lajes	12.5 mm
<input type="checkbox"/> Desativar a verificação dos cobrimentos mínimos	

Classe de agressividade ambiental	
III - Forte - Marinha / Industrial	
<a href="#">Alterar</a>	

Fatores atenuantes	
<input type="checkbox"/> Rígido controle de qualidade e de tolerância de medidas na obra	

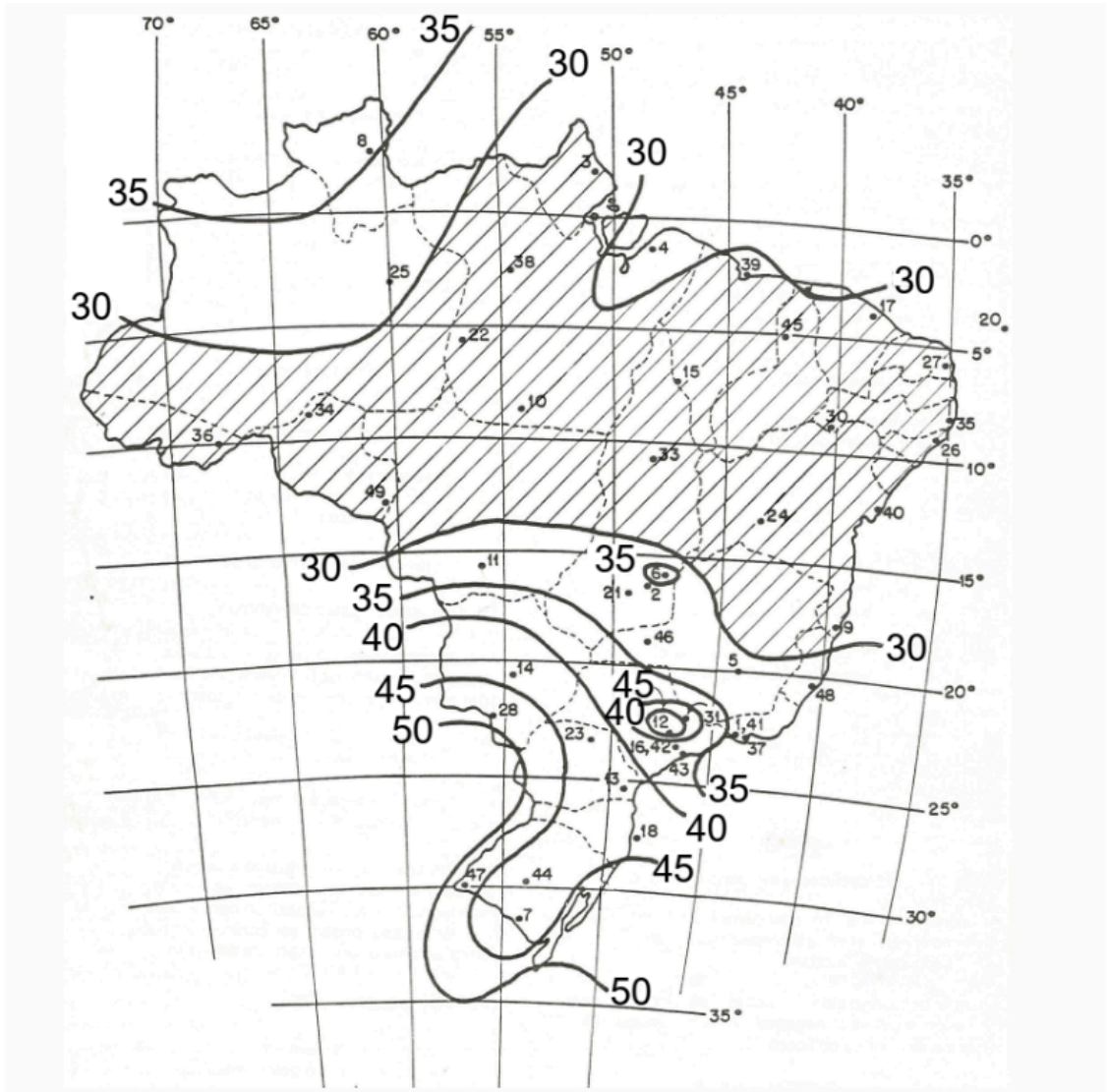
Valores de norma	
<a href="#">Valores diferenciados por planta</a>	
<a href="#">Pré-moldados</a>	

Fonte: Autoria Própria (2025).

### 3.2.2 Carga de vento

De acordo com a ABNT NBR 6123:2023, estabelece a velocidade básica do vento ( $V_0$ ), em m/s, específica para cada localidade brasileira, definida de acordo com a posição geográfica do município. Utilizou-se como parâmetro uma velocidade de 40m/s, conforme demonstrado na figura 23 e 24.

Figura 23- Isopletas da velocidade básica  $V_0$  (m/s)



Fonte: NBR 6123 (2023).

**Figura 24- Coeficientes de vento adotado no TQS**

Gerais | Modelo | Pavimentos | Materiais | Cobrimentos | Cargas | Critérios | Gerenciamento

Verticais | Vento | Adicionais | Adicionais-2 | Combinações

V0 - Velocidade básica: 40 m/s

S1 - Fator do terreno: 1.00

S2 - Categoria de rugosidade: III

S2 - Classe da edificação: B

S3 - Fator estatístico: 1.00

FV - Fator de vizinhança:

Excentricidade em todos os casos: 15.0 %

Casos de vento nas plantas de formas

Cálculo automático de CA no processamento

Turbulência do vento:  Baixa  Alta

	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

Inserir | Apagar | Calcular CAs

Avançado...

Ângulo de incidência de vento

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: Autoria Própria (2025).

### 3.2.3 Flecha

A verificação das flechas das lajes foi conduzida de acordo com os critérios da ABNT NBR 6118:2023, tomando como referência direta os limites estabelecidos na Tabela 04, que define os deslocamentos verticais máximos admissíveis.

Tabela 04 - Limites para deslocamentos

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas variáveis de utilização	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$l/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350+$ contraflecha <sup>b</sup>
			Ocorrido após a construção do piso	$l/600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$l/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ( $\psi_1 = 0,30$ )	$H/1700$ e $H/850^e$ entre pavimentos <sup>f</sup>
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$l/400^g$ e 15 mm

Fonte: NBR 6118 (2023).

### 3.2.4 Estabilidade global

De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, existem duas classificações possíveis para as edificações: elas podem ser estruturas de nós fixos ou nós móveis.

Quando os esforços de segunda ordem representam até 10% das solicitações de primeira ordem, considera-se que os deslocamentos horizontais da estrutura são reduzidos. Nessa condição, os efeitos globais de segunda ordem podem ser desprezados, sendo necessária apenas a verificação dos efeitos locais e localizados. Estruturas que se enquadram nesse comportamento são classificadas

como estruturas de nós fixos, pois a influência dos deslocamentos laterais sobre os esforços internos é pouco significativa.

Por outro lado, quando os momentos de segunda ordem ultrapassam 10% dos esforços de primeira ordem, a estrutura passa a ser classificada como estrutura de nós móveis. Neste caso, o deslocamento horizontal global não pode ser ignorado, todos os efeitos globais, locais e localizados devem ser considerados no dimensionamento, uma vez que a instabilidade pode influenciar de maneira relevante os esforços finais.

De forma equivalente, essa classificação pode ser expressa por meio do índice  $\gamma_z$ , utilizado para avaliar a sensibilidade da estrutura à instabilidade. Valores de  $\gamma_z$  inferiores a 1,10 caracterizam estruturas de nós fixos, enquanto valores entre 1,10 e 1,30 indicam estruturas de nós móveis, exigindo a consideração completa dos efeitos de segunda ordem.

### 3.2.5 Armadura de punção

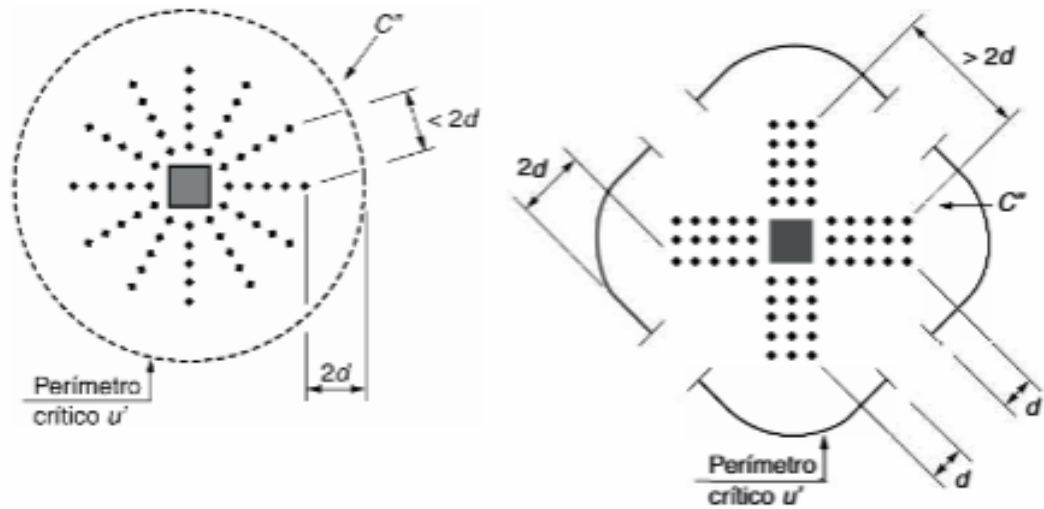
Segundo a NBR 6118 (2023):

No caso de a estabilidade global da estrutura depender da resistência da laje à punção, deve ser prevista armadura de punção, mesmo que  $\tau_{Sd}$  seja menor que  $\tau_{Rd1}$ . Essa armadura deve equilibrar um mínimo de 50 % de FSd.

Para as armaduras resistir à punção, elas devem ser constituídas por estribos verticais ou conectores (studs). A resistência, às dimensões e a ancoragem dos conectores (studs), devem ter desempenho comprovado por meio de ensaios que considerem todos os efeitos gerados pela punção, devido à ausência de Norma específica. Quanto ao diâmetro da armadura de estribos, deve haver contato mecânico das barras longitudinais com os cantos dos estribos, além de não poder superar  $h/20$  da laje NBR 6118 (2023).

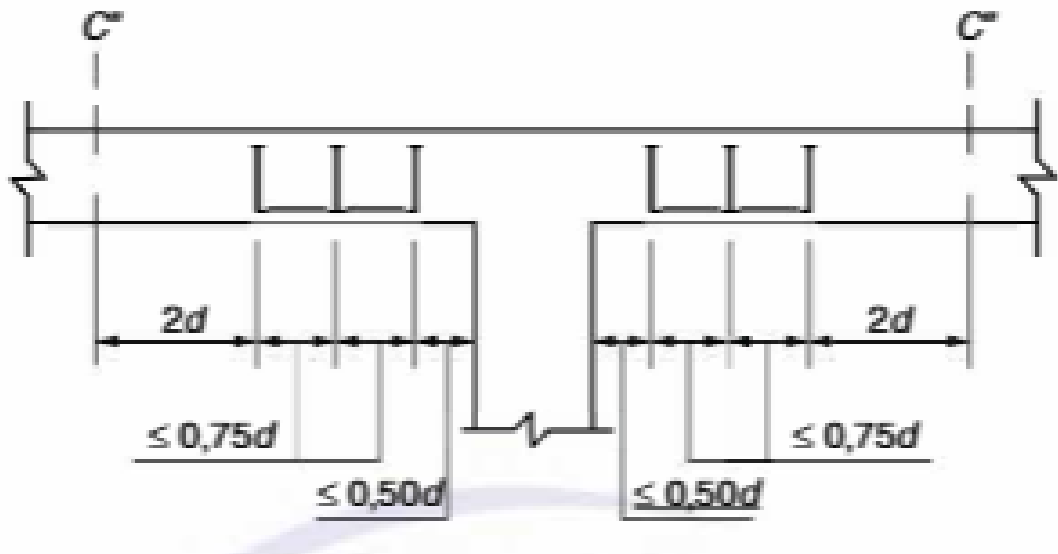
As regiões mínimas em que devem ser dispostas as armaduras de punção, bem como as distâncias regulamentares a serem cumpridas, estão apresentadas nas imagens abaixo.

**Figura 25- Disposição da armadura de punção em planta e contorno da superfície crítica C''**



Fonte: NBR 6118 (2023).

**Figura 26- Disposição da armadura de punção em corte**



Fonte: NBR 6118 (2023).

Para armadura transversal, ela deve ser estendida em contornos paralelos a  $C'$  até que, em um contorno  $C''$  afastado  $2d$  do último contorno de armadura, conforme demonstrado na figura 26.

### 3.2.6 Colapso progressivo

Conforme a NBR 6118 (2023) para assegurar a ductilidade local e, conseqüentemente, a proteção contra o colapso progressivo, a armadura de flexão inferior que ultrapassa o contorno C deve ser adequadamente ancorada além do contorno C' ou C'', conforme demonstrado na figura abaixo, também deve respeitar a equação 1.

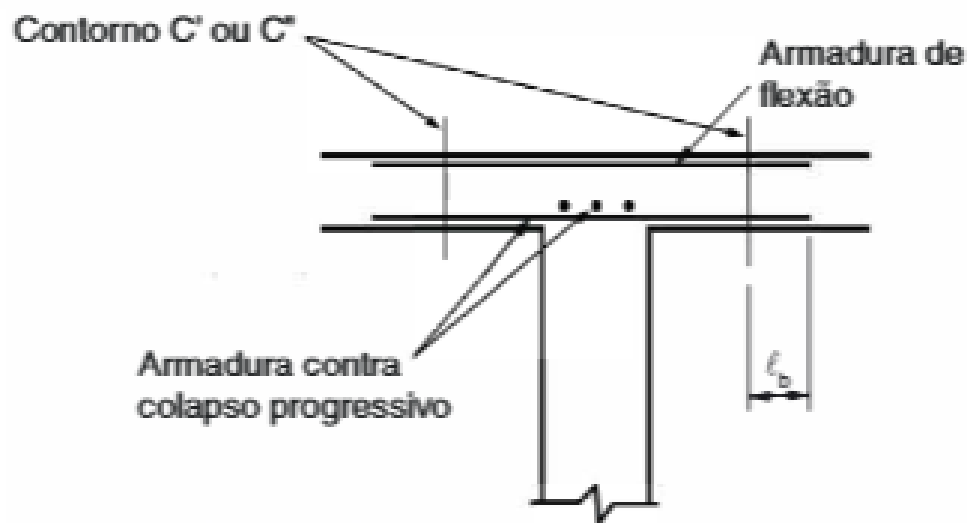
$$f_{yd} A_{s,ccp} \geq 1,5 * F_{sd} \quad (1)$$

Onde:

$A_{s,ccp}$  é o somatório de todas as áreas das barras inferiores que cruzam cada uma das faces do pilar; e

$F_{sd}$  pode ser calculado como  $\gamma_f$  igual a 1,2.

**Figura 27- Armadura contra colapso progressivo**



Fonte: NBR 6118 (2023).

### 3.3 Concepção estrutural

Para a concepção estrutural da solução realizada neste trabalho, utilizou-se como ponto de partida o projeto arquitetônico original do empreendimento, preservando-se integralmente sua volumetria, organização funcional dos pavimentos e modulação dos ambientes. A elaboração da estrutura considerou, desde as etapas

iniciais, a necessidade de compatibilização com as instalações prediais, a manutenção da identidade arquitetônica e o atendimento às condições de conforto, desempenho e viabilidade executiva estabelecidas pelo projeto.

Ao desenvolver o novo lançamento estrutural, adotou-se uma abordagem metodológica que priorizou a hierarquização dos critérios de projeto, tais como alinhamento de pilares, racionalização de vigas, otimização de vãos e controle das deformações globais e locais. Buscou-se evitar interferências com elementos arquitetônicos sensíveis, como shafts hidráulicos, circulação vertical, esquadrias e áreas de lazer, garantindo que a proposta estrutural respeitasse as restrições geométricas e funcionais da arquitetura existente.

Além disso, procurou-se explorar as vantagens proporcionadas pela protensão, como a redução de consumo de materiais, maior capacidade de vencer vãos e a possibilidade de eliminar vigas internas. Este lançamento adotou um sistema mais racionalizado, concentrando vigas apenas nas bordas da edificação e permitindo que a laje atuasse como elemento horizontal predominante. A escolha dos traçados dos cabos de protensão considerou a necessidade de evitar interferências com instalações prediais, atender às exigências de equilíbrio estrutural, abertura de fissuras e manter a coerência arquitetônica dos ambientes.

Durante o processo de concepção, avaliou-se a necessidade de garantir a estabilidade global da edificação em ambas as propostas, às deformações máximas das lajes (flechas) e também analisou-se a retração plástica e a gradiente térmico (variação da temperatura) para verificar se havia a necessidade de junta de dilatação, com isso, foi necessário fazer algumas modelagens até que ambos projetos estivessem adequados com a NBR 6118 (2023).

O sistema de contraventamento é assegurado pela presença do núcleo rígido formado pelos pilares do elevador. Entretanto, a contribuição das lajes para a rigidez global torna-se mais significativa devido ao uso de lajes maciças protendidas com espessuras superiores. Essas lajes mais rígidas atuam como diafragmas estruturais mais eficientes, melhorando a distribuição dos esforços horizontais entre os pavimentos e aumentando a rigidez do conjunto estrutural. Assim, o sistema de contraventamento no modelo protendido é garantido pela ação conjunta do núcleo rígido e da maior eficiência dos diafragmas formados pelas lajes protendidas,

assegurando estabilidade global mesmo com a redução de vigas e apoios característicos dessa solução estrutural.

Apesar de seguir diretrizes técnicas bem estabelecidas, a concepção estrutural permanece um processo singular e profundamente influenciado pela experiência, sensibilidade e tomada de decisão de cada projetista. Cada engenheiro, ao interpretar o mesmo projeto arquitetônico, pode optar por diferentes arranjos de pilares, variações de vigas, espessuras de lajes e estratégias de contraventamento, resultando em soluções distintas, porém igualmente válidas dentro dos critérios normativos. Essa individualidade torna o lançamento estrutural quase uma forma de expressão técnica, na qual a vivência profissional orienta escolhas que não se limitam apenas ao cálculo, mas também à percepção de comportamento estrutural, otimização construtiva e coerência global do sistema. No caso da protensão, essa característica se evidencia ainda mais no traçado dos cabos, cuja definição depende de um equilíbrio entre técnica, experiência e interpretação estrutural, reforçando o caráter quase artístico presente no processo de concepção.

Assim, a concepção estrutural buscou conciliar desempenho técnico, viabilidade executiva, integridade arquitetônica e racionalidade construtiva, permitindo uma comparação equilibrada entre o sistema convencional em concreto armado e o sistema alternativo em concreto protendido.

#### **4 DIMENSIONAMENTO**

O capítulo de dimensionamento apresenta a análise dos resultados obtidos da solução estrutural desenvolvida e também da solução em concreto armado, a partir dos modelos estruturais lançados no software TQS. Os resultados obtidos são examinados de forma técnica e comparativa, abrangendo diferentes aspectos que influenciam diretamente o desempenho global da edificação. Inicialmente, são discutidas as formas estruturais, destacando a organização dos elementos, variações geométricas e particularidades construtivas de cada alternativa. Em seguida, analisa-se a estabilidade global, com base no índice  $\gamma_z$  conforme os critérios da ABNT NBR 6118 (2023), avaliando o comportamento das duas soluções frente às ações do vento e peso próprio. A verificação das flechas das lajes é apresentada com base no Modelo VI do TQS, abordando tanto a compatibilidade das deformações quanto às exigências normativas de controle de deslocamentos. Posteriormente, o estudo contempla a taxa

de armadura nos pilares, assegurando conformidade com os limites normativos e o adequado detalhamento construtivo.

A análise prossegue com a avaliação das plantas de cargas, examinando o peso próprio da estrutura em cada sistema, também são discutidos os resultados referentes à armadura de punção e às verificações de colapso progressivo para a solução em concreto protendido, com base nos critérios da NBR 6118 (2023), assegurando a segurança nas regiões críticas próximas aos pilares. Para a solução protendida, inclui-se a verificação das perdas da força de protensão, apresentando o critério adotado no TQS e por fim, são realizadas uma análise qualitativa, considerando aspectos arquitetônicos, funcionais e de racionalidade construtiva, e uma análise quantitativa, reunindo dados objetivos de consumo de materiais.

#### **4.1 Forma estrutural**

As pranchas estruturais referentes à solução em laje lisa protendida evidenciam um sistema estrutural racionalizado, no qual a laje assume papel predominante na distribuição dos esforços, possibilitando a redução quase total de vigas internas. De modo geral, as lajes apresentam espessuras elevadas e uniformes, variando conforme a necessidade estrutural de cada pavimento, sendo predominantes as espessuras de 24 cm, característica típica de sistemas protendidos que trabalham com maiores vãos e menor quantidade de vigas e pilares.

A malha de pilares é distribuída de maneira regular ao longo dos pavimentos, mantendo alinhamentos verticais que favorecem a continuidade estrutural e a transferência eficiente das cargas gravitacionais. A repetição modular entre os pavimentos principais contribui para um comportamento global mais rígido, especialmente devido à maior espessura das lajes, que também atuam como diafragmas horizontais mais eficientes frente às ações horizontais de vento.

Embora o sistema seja classificado como laje lisa protendida, as pranchas indicam a presença pontual de algumas vigas internas, inseridas exclusivamente para atender às exigências do projeto arquitetônico. Essas vigas são utilizadas em locais onde há necessidade de fechamento de vãos específicos, como delimitação de áreas, apoio de elementos arquitetônicos, restrições geométricas de aberturas, como portas ou janelas e na borda de áreas especiais, como terraços, áreas técnicas ou laje da piscina. Apesar de discretas, essas vigas exercem função importante para

compatibilizar arquitetura e estrutura, sem descaracterizar o sistema predominante de laje lisa.

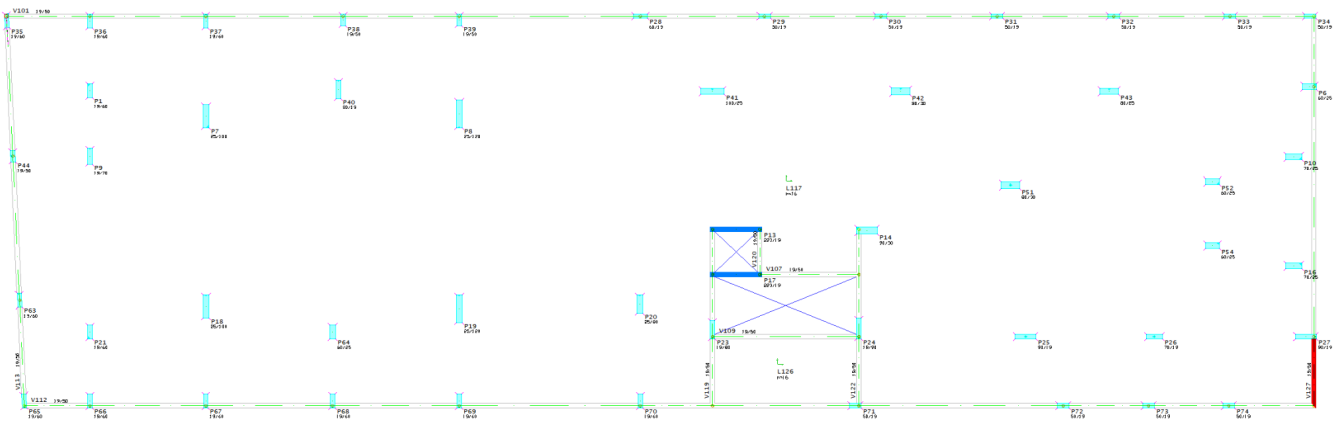
A presença de lajes com espessuras diferenciadas em áreas específicas, como escadas, barrilete, reservatório e tampa de reservatório, evidencia que o sistema foi cuidadosamente dimensionado para atender às particularidades de cada ambiente. Esses ajustes permitem equilíbrio entre desempenho estrutural, otimização de materiais e exigências funcionais impostas pela arquitetura.

Assim, o conjunto das pranchas estruturais revela um sistema de protensão bem articulado, caracterizado por lajes espessas, poucas vigas internas e uma distribuição coerente de pilares, resultando em uma solução racional, eficiente e compatível com os requisitos arquitetônicos e estruturais do empreendimento.

Os pavimentos pilotis, barrilete, reservatório e tampa do reservatório não foram utilizados o sistema de protensão, pois não havia necessidade da utilização para suprir as necessidades estruturais dos pavimentos.

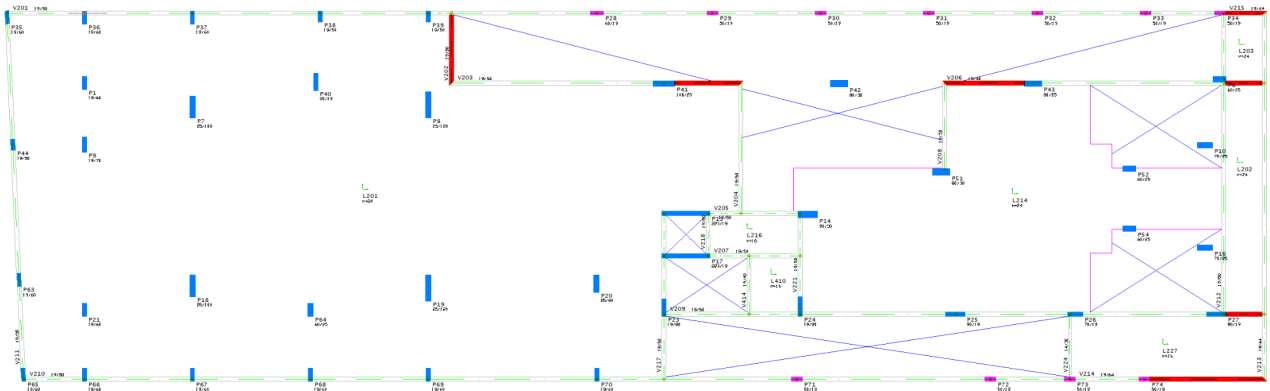
As formas desta solução se encontram nos apêndices, para melhor visualização.

**Figura 37 - Pavimento pilotis solução em concreto protendido**



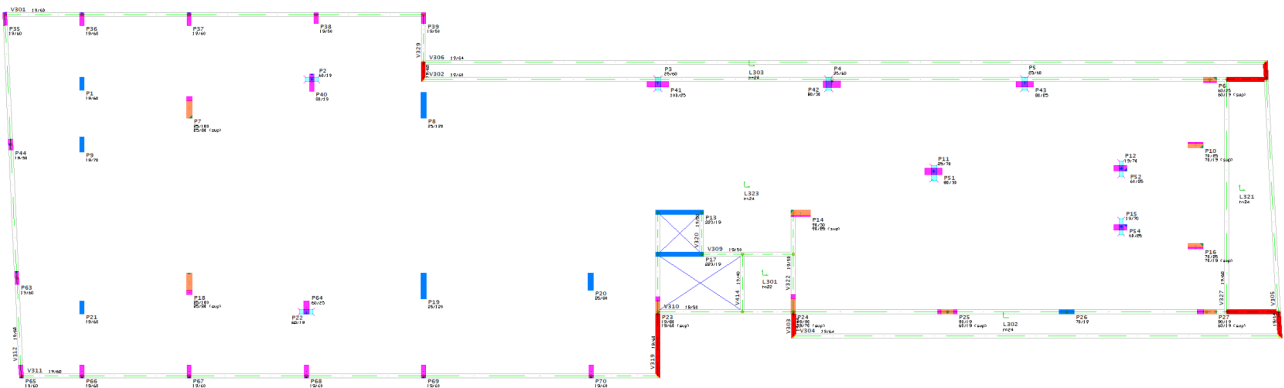
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 38 - Pavimento intermediário solução em concreto protendido**



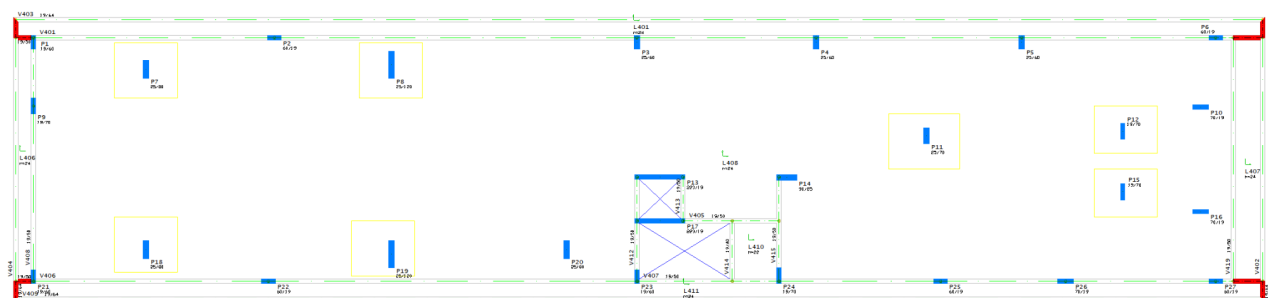
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 39 - 2º pavimento solução em concreto protendido**



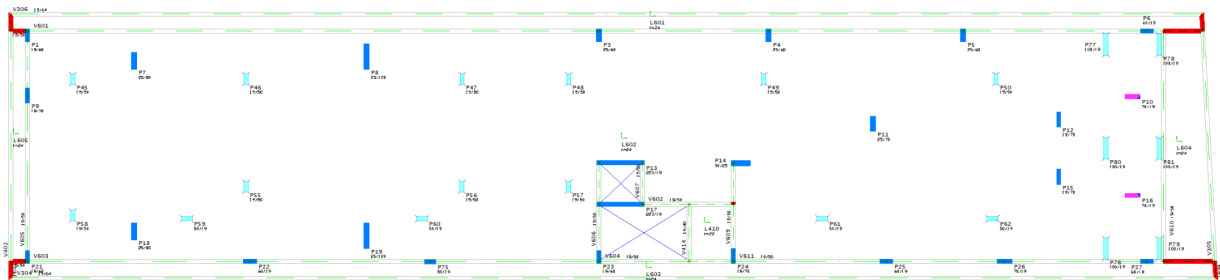
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 40 - Pavimento tipo solução em concreto protendido**



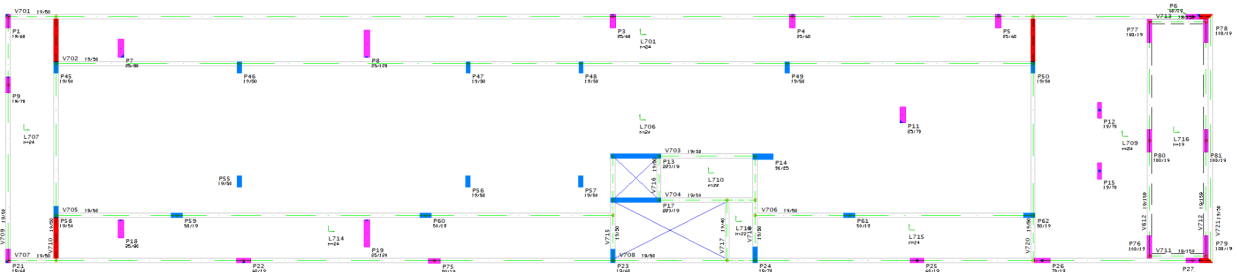
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 41 - Laje técnica solução em concreto protendido**



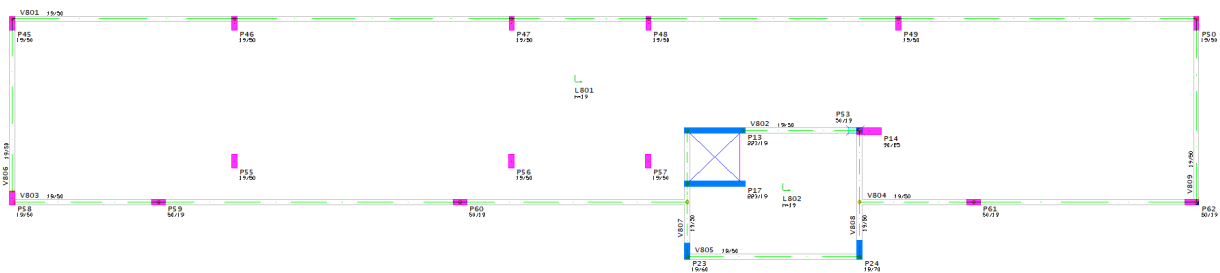
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 42 - Pavimento cobertura solução em concreto protendido**



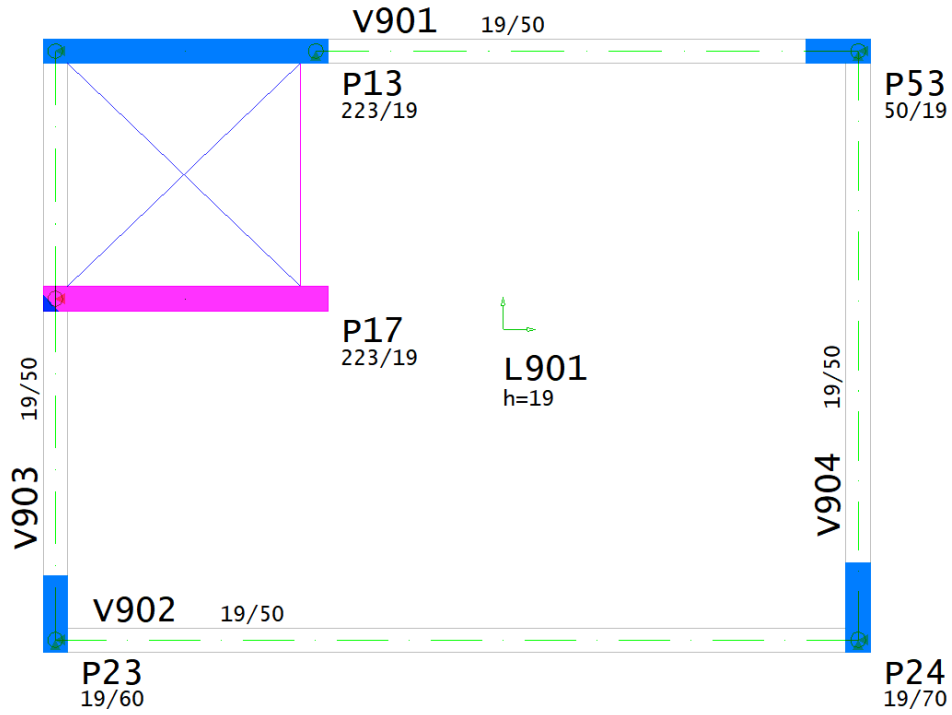
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 43 - Barrilete solução em concreto protendido**



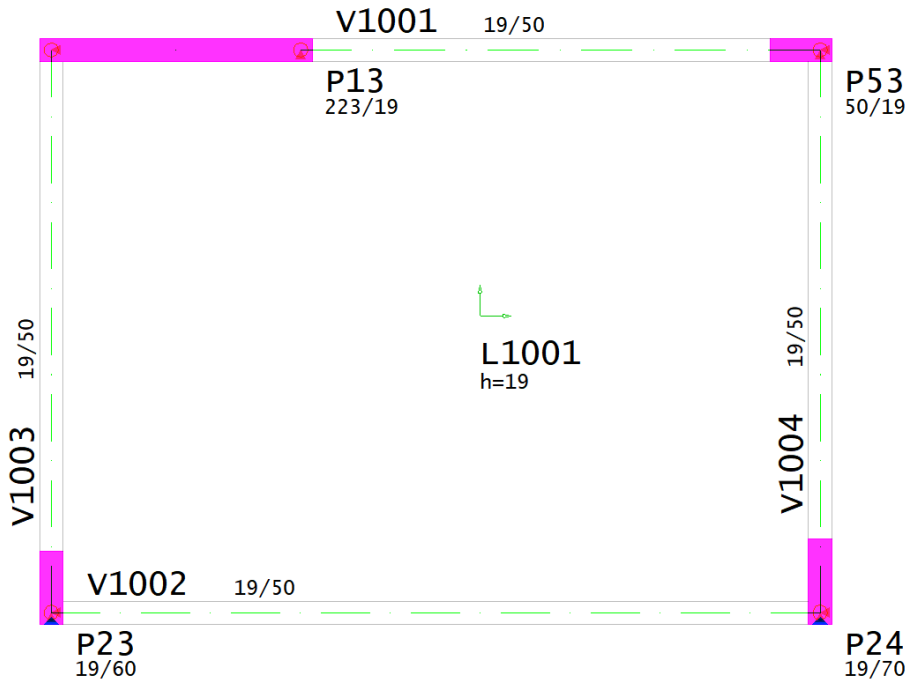
Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 44 - Reservatório solução em concreto protendido



Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 45 - Tampa do reservatório solução em concreto protendido



Fonte: Autoria Própria (2025).

## 4.2 Estabilidade global

A análise de estabilidade global da edificação para solução em concreto armado resultou em um índice  $\gamma_z$  igual a 1,11. Já a análise de estabilidade global para a solução em concreto protendido resultou em um índice  $\gamma_z$  igual a 1,14, valores calculados conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023, que define a sensibilidade da estrutura aos efeitos de segunda ordem.

Embora o índice obtido para ambas soluções se enquadre tecnicamente na faixa de nós móveis, os valores de 1,11 e 1,14 representam uma diferença mínima em relação ao limite inferior estabelecido pela norma 1,10. Essa proximidade indica que as estruturas apresentam um comportamento muito próximo ao de um sistema de nós fixos, evidenciando que os deslocamentos horizontais são reduzidos e não comprometem a estabilidade global da edificação.

Apesar deste comportamento próximo de nós fixos, pelo fato do  $\gamma_z$  ter ultrapassado o valor de 1,1, a norma determina que é necessário analisar os efeitos de 2° ordem. Conforme demonstrado nas figuras 48 e 49, percebe-se que a norma foi atendida, tendo em vista que os valores de  $P\Delta$  não ultrapassaram 1,3. O resultado confirma que o modelo estrutural apresenta estabilidade global satisfatória, mantendo rigidez adequada frente às ações horizontais consideradas, e atendendo integralmente aos requisitos normativos para edificações de múltiplos pavimentos.

Figura 46 -  $\gamma_Z$  Solução em concreto armado

## Estabilidade global / Deslocamentos laterais

16/11/25 22:55:40  
 67.15.030.5029.001.673  
 PRATA PARTICIPAÇÕES LTDA  
 Projeto: 637-CAPELINHA-CONVENCIONAL-R02  
 Rua Flávio Aducci, 1214 sala 510

### 1 - Informações de cálculo

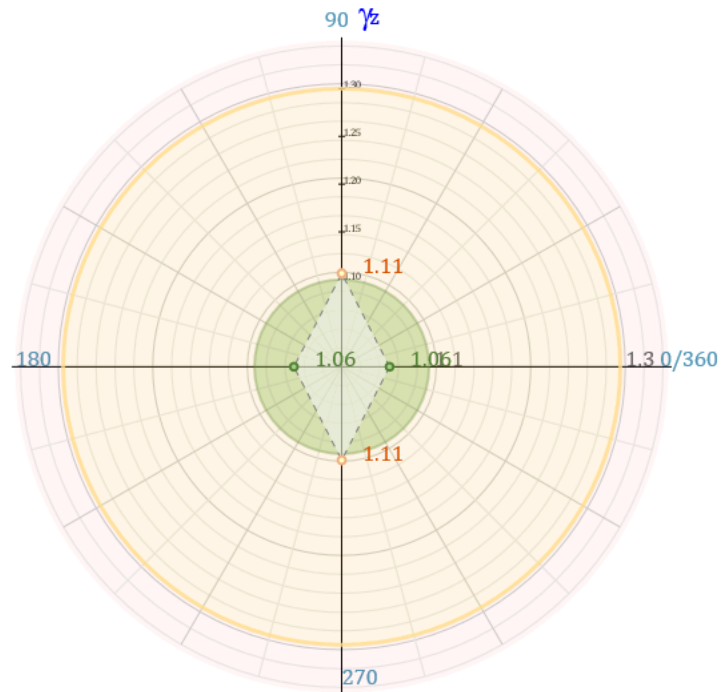
### 2 - ELU - Estabilidade Global

#### a) Descrição dos casos/cominações

- > Casos de carregamento horizontal
- > Combinações de ELU - vigas e lajes
- > Combinações de ELU - pilares e fundações
- > Combinações de ELU - protensão

#### b) Casos simples de vento

- > Tabela detalhada



Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 47 -  $\gamma_z$  Solução em concreto protendido

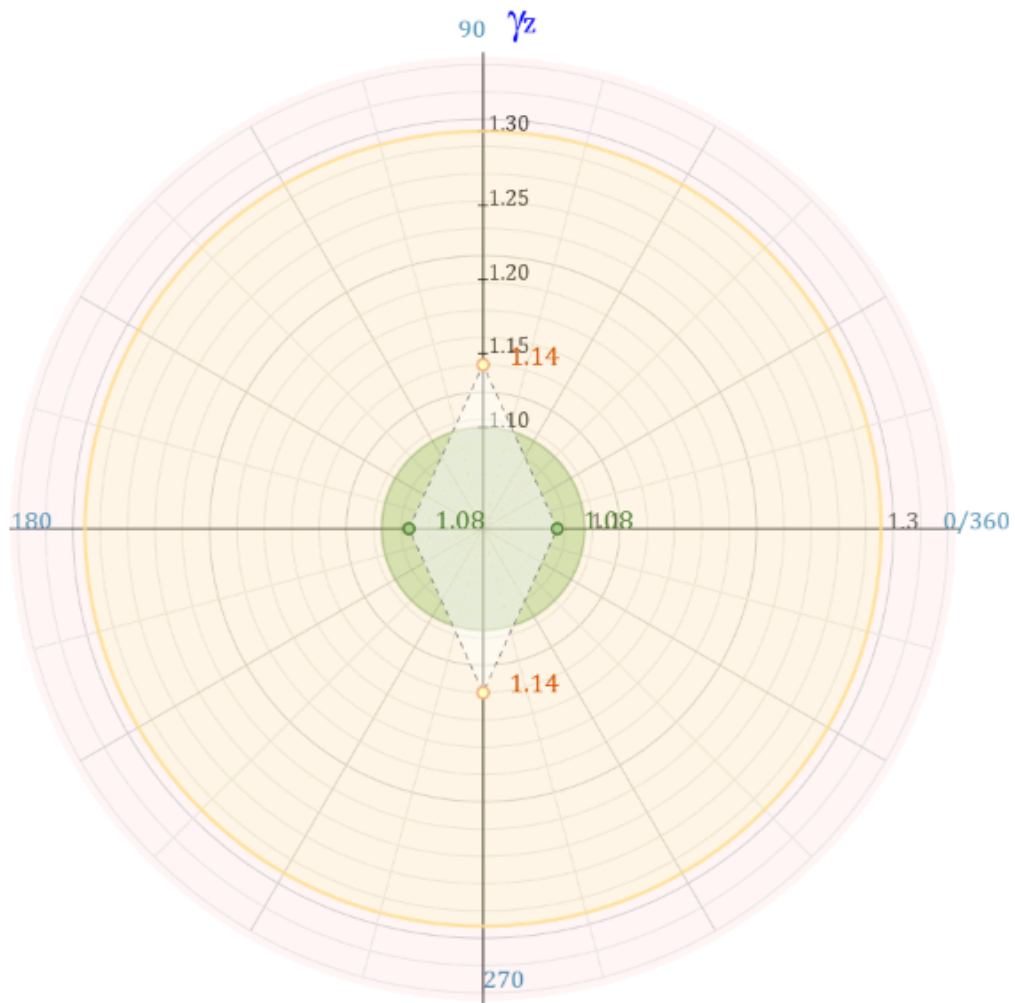
### Estabilidade global / Deslocamentos laterais

30/11/25 17:06:33  
67.15.030.5029.001.673  
PRATA PARTICIPAÇÕES LTDA  
Projeto: 637-CAPELINHA-PROTENDIDO-R02  
Rua F?lvio Aducci, 1214 sala 510

#### 1 - Informações de cálculo

#### 2 - ELU - Estabilidade Global

- a) Descrição dos casos/combinções
  - > Casos de carregamento horizontal
  - > Combinações de ELU - vigas e lajes
  - > Combinações de ELU - pilares e fundações
  - > Combinações de ELU - protensão
- b) Casos simples de vento
  - > Tabela detalhada

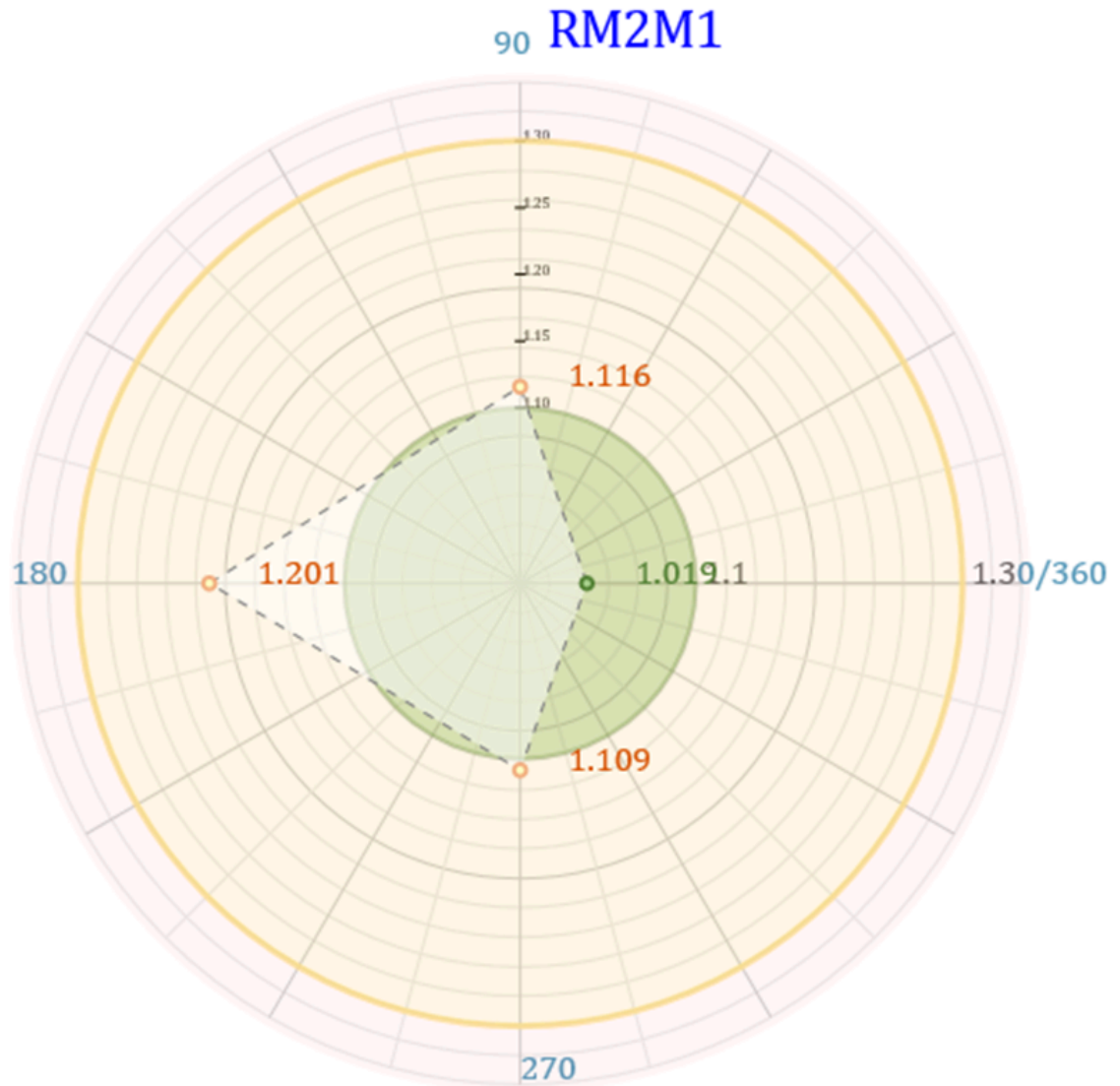


Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 48 - Efeitos de 2º ordem CA

**d) Combinações ELU - pilares e fundações**

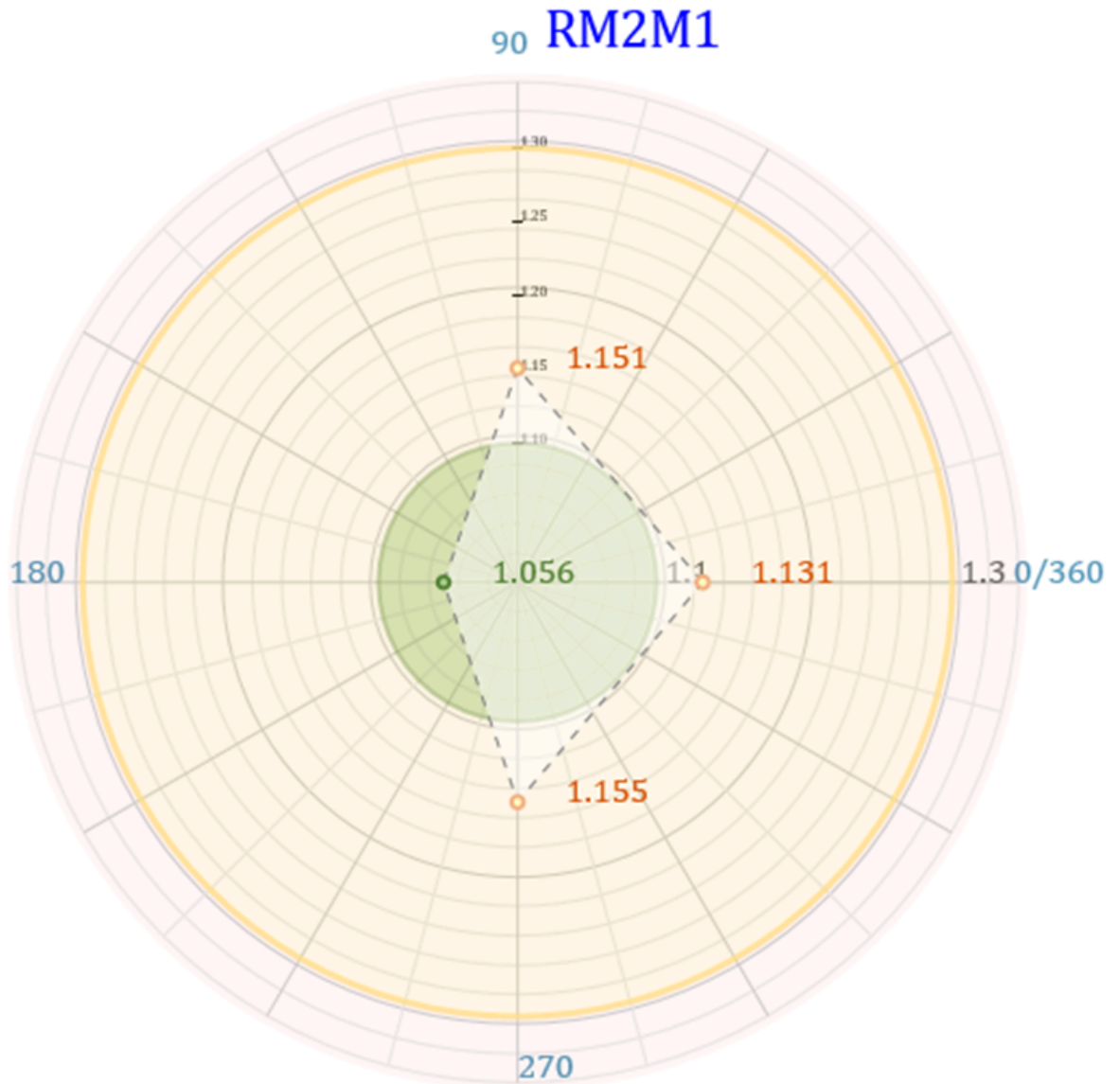
&gt; Tabela detalhada



Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 49 - Efeitos de 2º ordem CP

**d) Combinações ELU - pilares e fundações**  
 > Tabela detalhada



Fonte: Autoria Própria (2025).

Analisando as figuras 48 e 49, nota-se que o momento de 2º ordem da solução em concreto armado, excede 20,1% dos efeitos de primeira ordem no eixo x. Já para o eixo y, o valor excedido é de 11,6%. Para a solução em concreto protendido obteve-se um valor de 13,1% para o eixo x e 15,5% para o eixo y.

### 4.3 Flechas

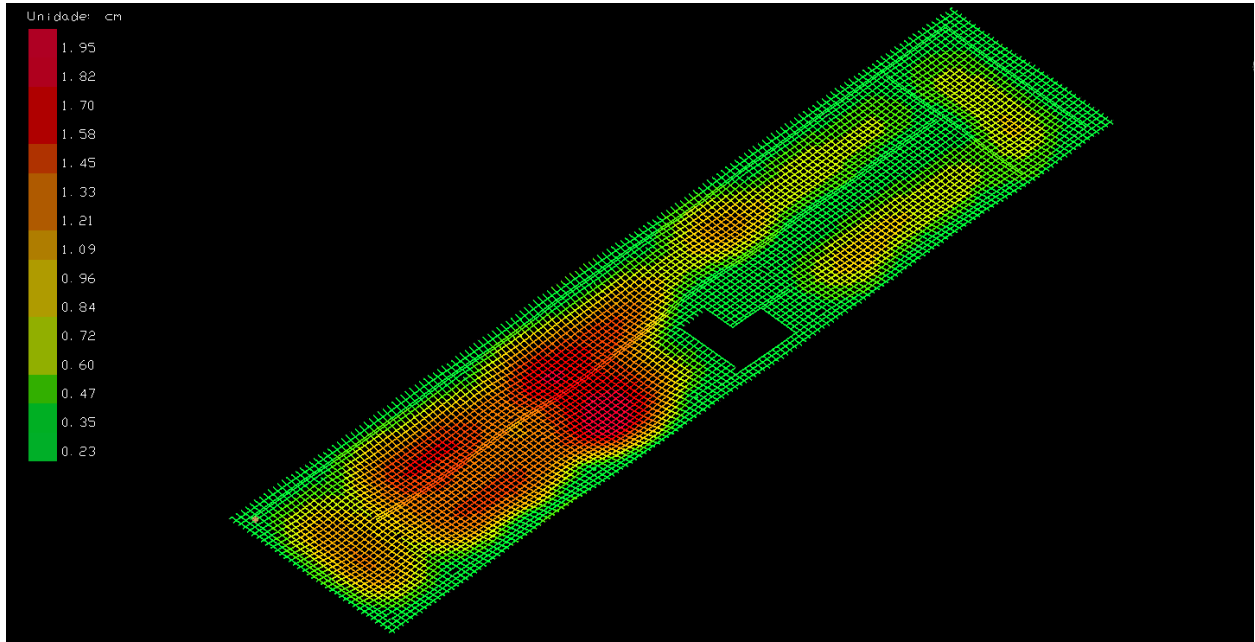
Para a verificação dos deslocamentos verticais nas lajes, adotou-se o critério estabelecido pela Tabela 4, especificamente o item referente a elementos não estruturais do tipo alvenaria, caixilhos e revestimentos

Na avaliação das deformações verticais das lajes, realizada por meio do Visualizador de Grelhas do software TQS, observa-se a formação de regiões com deslocamentos absolutos aparentemente elevados quando analisados de forma isolada. Contudo, esses valores máximos não representam diretamente a flecha normativa de verificação, devido à natureza numérica da modelagem em grelha, que pode concentrar deslocamentos em barras específicas da malha em função da discretização, da geometria irregular dos panos de laje e da presença de aberturas.

Conforme orienta a NBR 6118:2023, a verificação das flechas deve ser realizada com base na flecha relativa ao apoio, e não no deslocamento absoluto apresentado pelo modelo. Assim, o que efetivamente importa é a deformação entre o ponto mais solicitado e as vigas ou pilares que sustentam o pano de laje, uma vez que essa diferença é a que interfere em alvenarias, revestimentos e elementos não estruturais. Considerando essa metodologia, todas as lajes do pavimento analisado atendem aos limites normativos definidos na tabela 4.

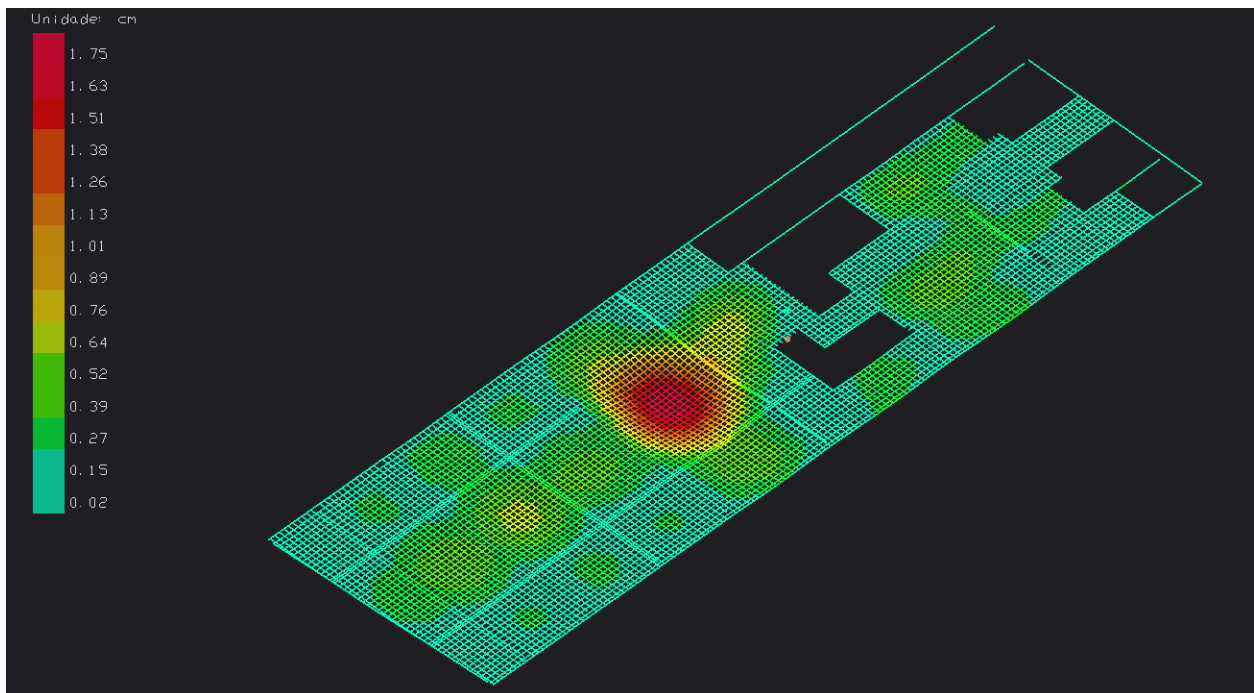
Por fim, os valores máximos indicados no modelo de grelha serão utilizados ao longo deste trabalho como parâmetro comparativo entre as duas soluções estruturais propostas, laje em concreto armado e laje em concreto protendido, permitindo avaliar o comportamento relativo das alternativas.

**Figura 50 - Flecha pavimento pilotis solução em concreto armado**



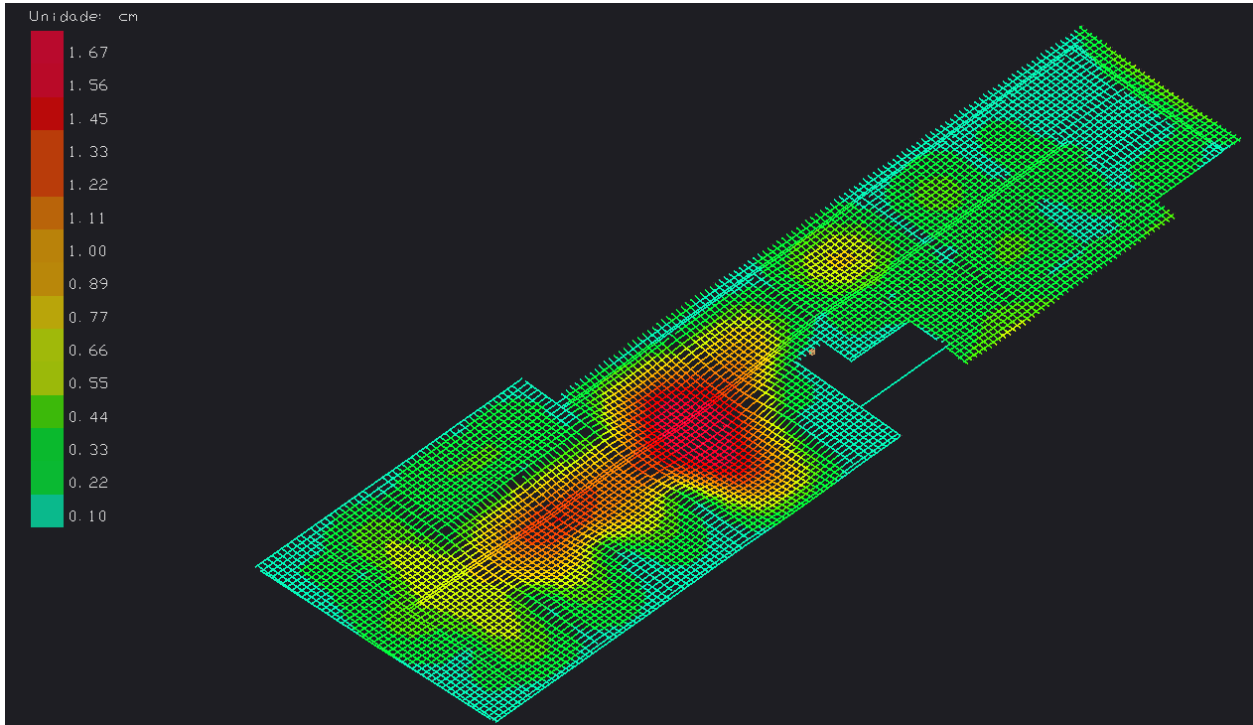
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 51 - Flecha pavimento piso intermediário solução em concreto armado**



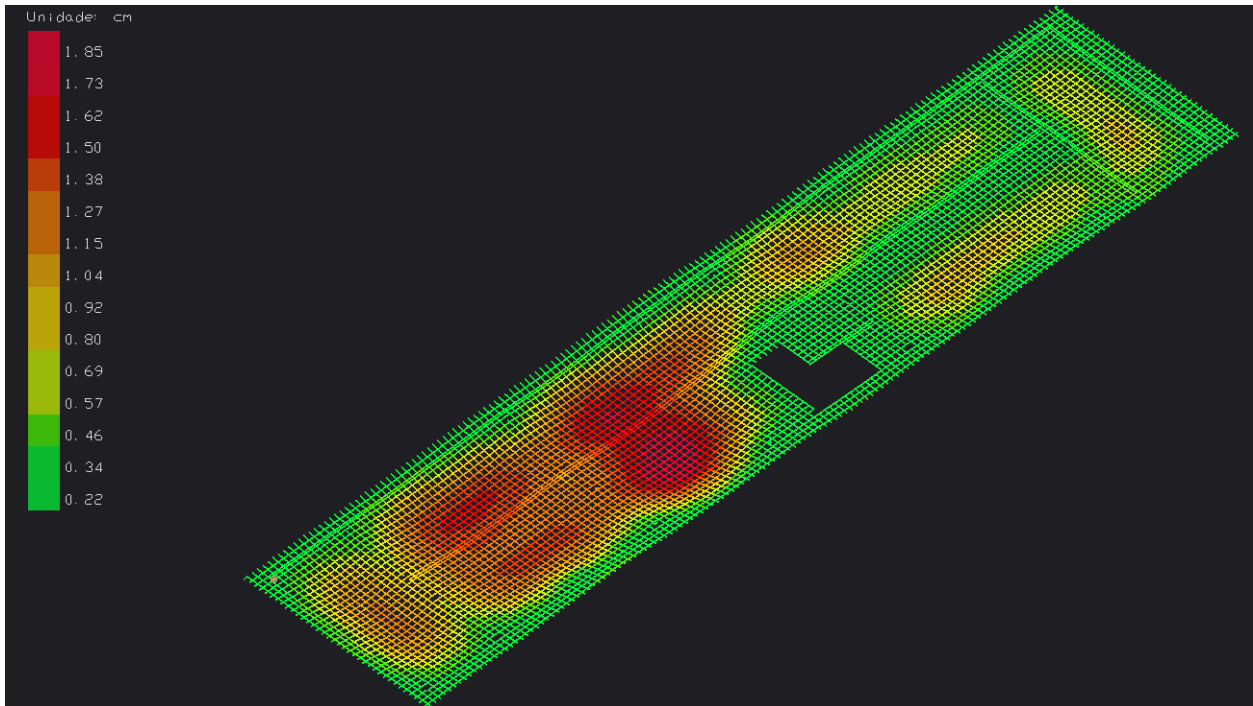
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 52 - Flecha 2º pavimento solução em concreto armado**

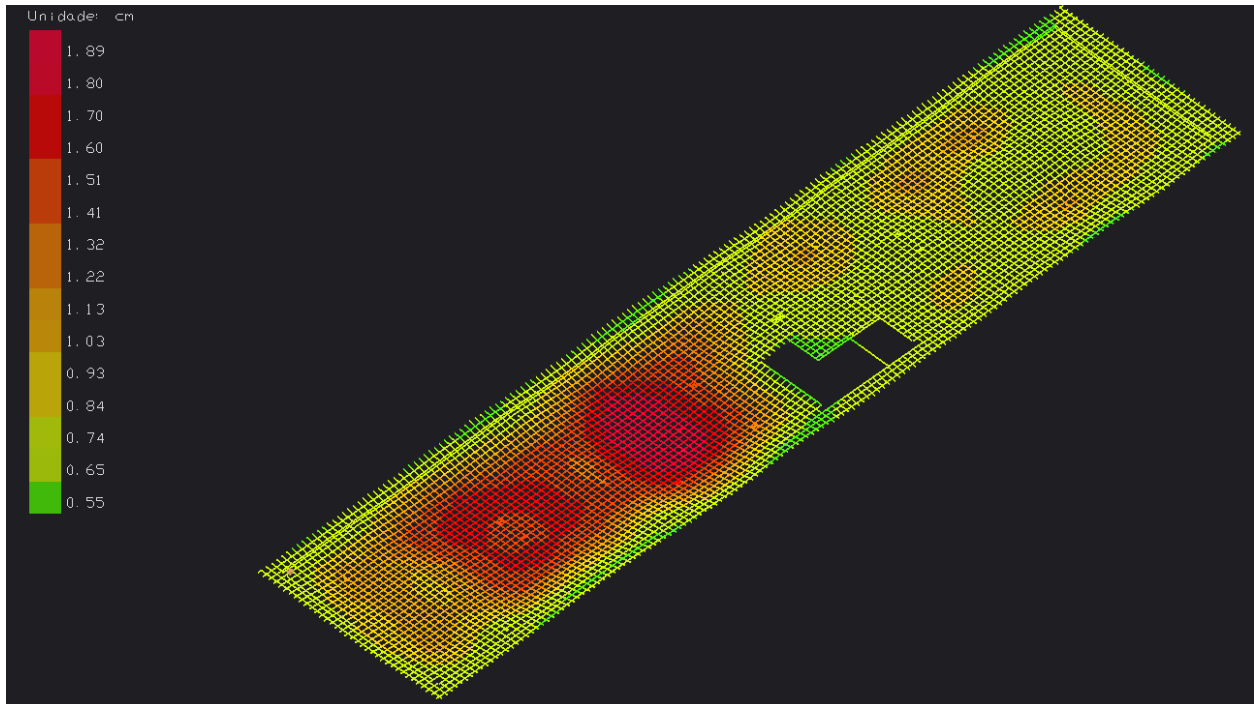


Fonte: Autoria Própria (2025).

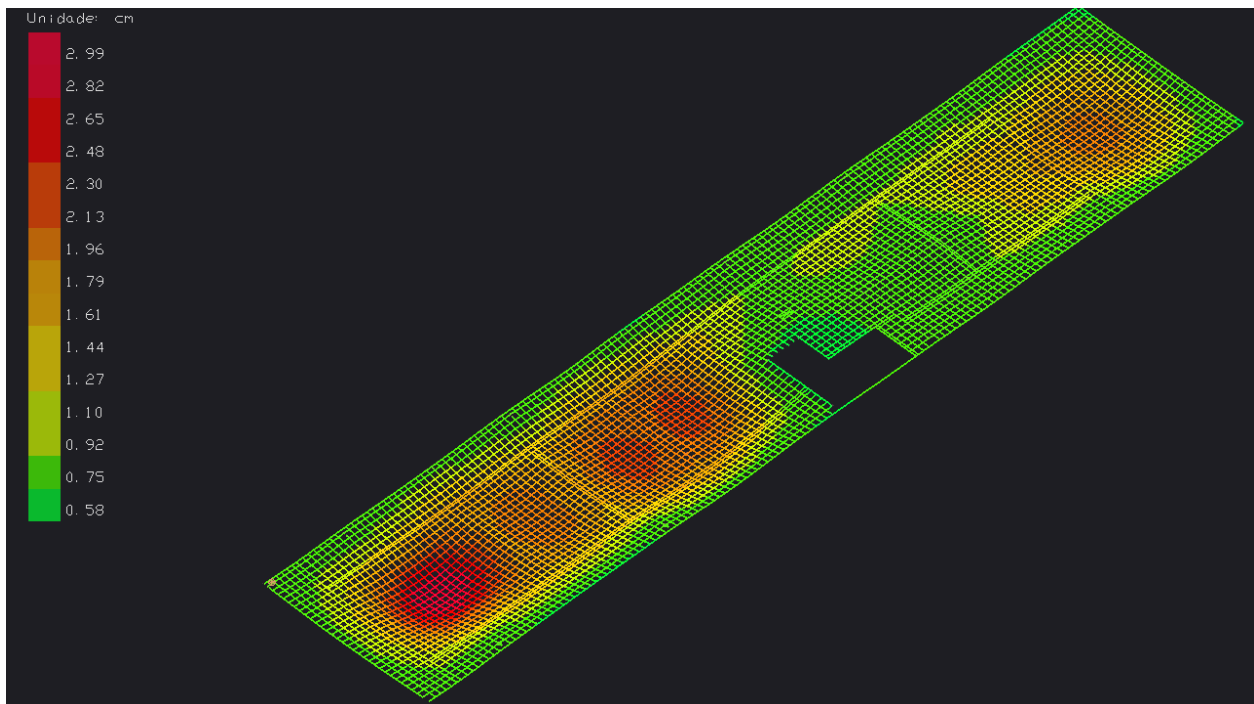
**Figura 53 - Flecha pavimento tipo solução em concreto armado**



Fonte: Autoria Própria (2025).

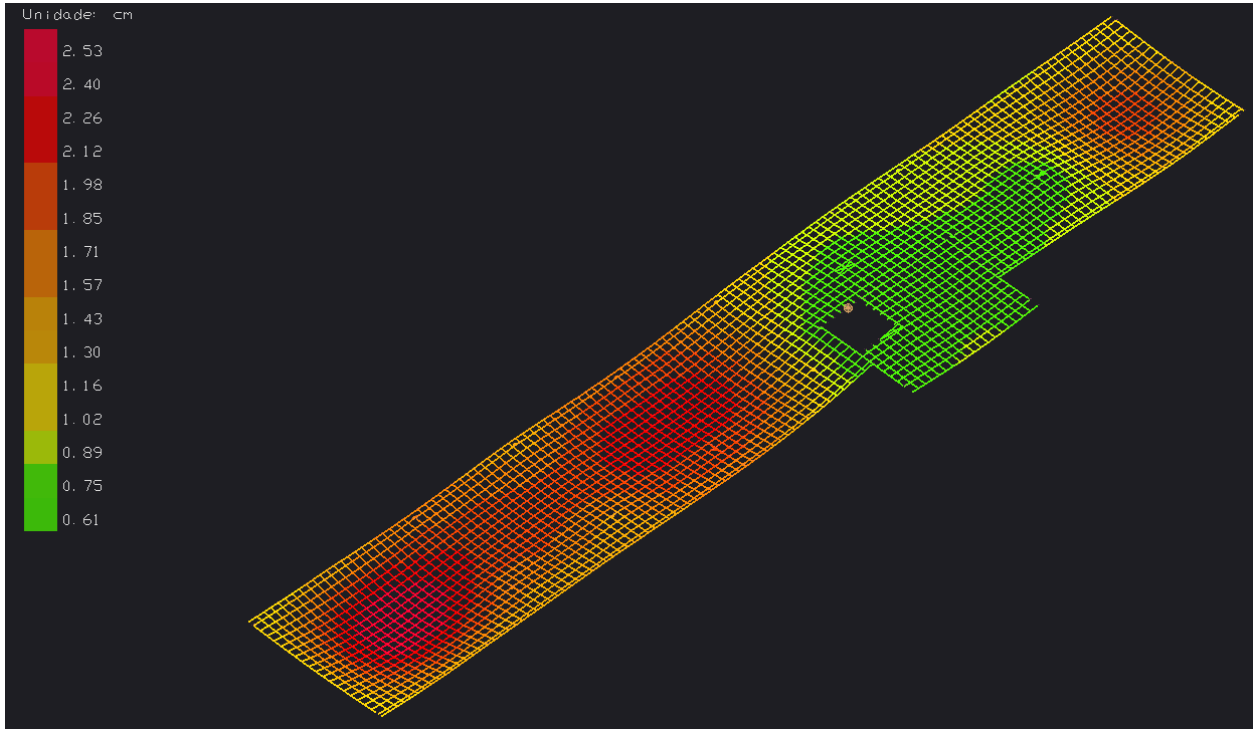
**Figura 54 - Flecha laje técnica solução em concreto armado**

Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 55 - Flecha pavimento cobertura solução em concreto armado**

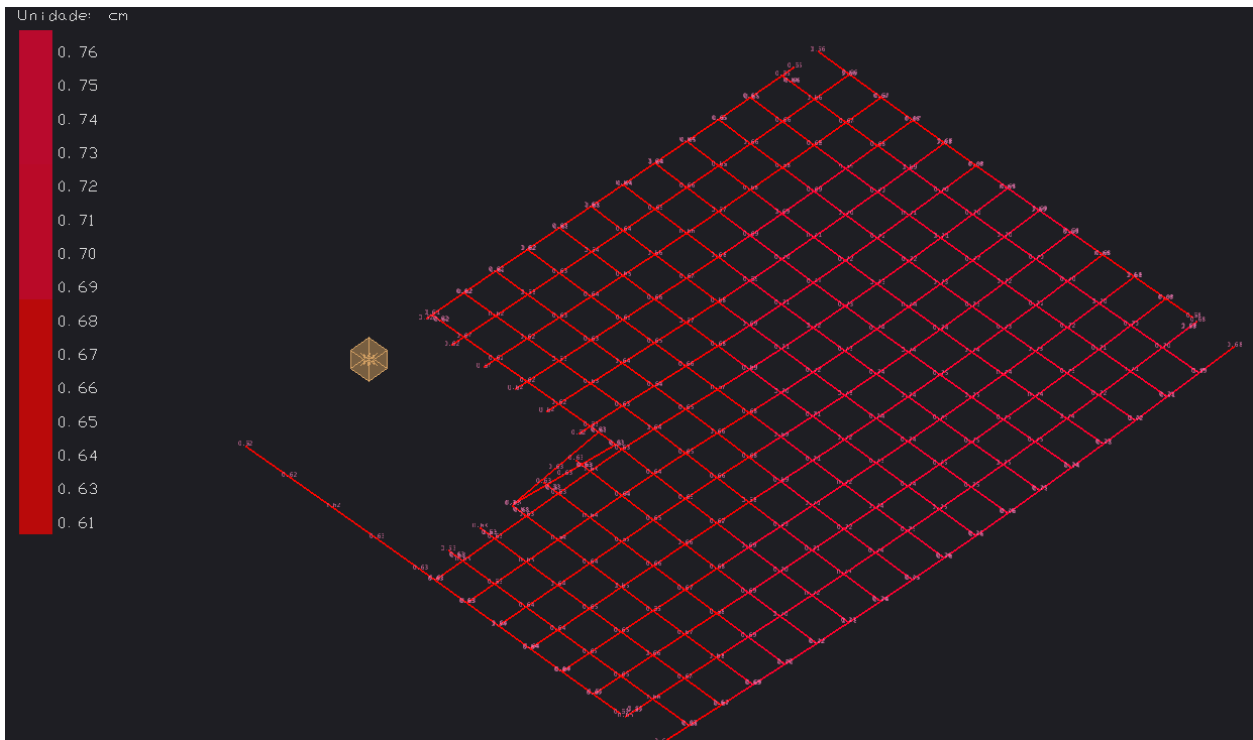
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 56 - Flecha barrilete solução em concreto armado**



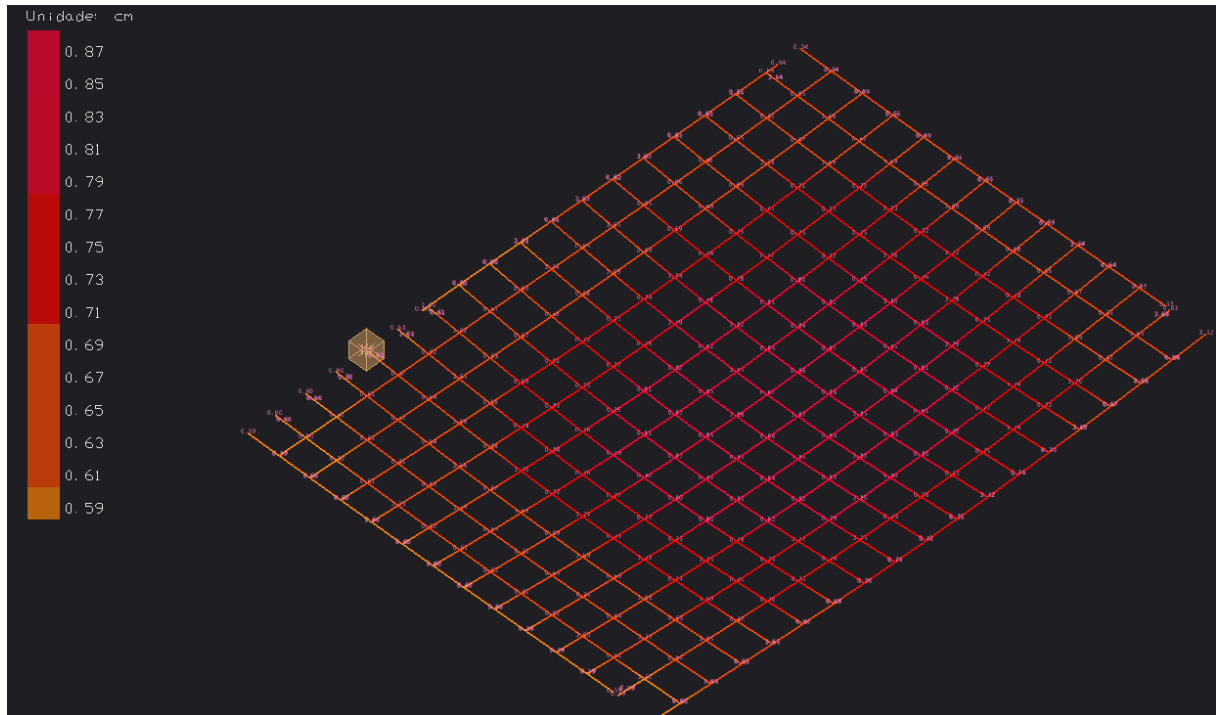
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 57 - Flecha reservatório solução em concreto armado**



Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 58 - Flecha tampa do reservatório solução em concreto armado



Fonte: Autoria Própria (2025).

No que se refere à verificação das flechas, a análise evidenciou alguns pontos específicos em relação às lajes do barrilete e da cobertura.

Na laje do barrilete, as flechas apresentaram valores inicialmente elevados quando observadas diretamente no ambiente gráfico do TQS. Contudo, ao se realizar a verificação numérica conforme os critérios normativos, observa-se que a diferença real é menor do que a representada na visualização do modelo. Isso ocorre porque o programa, na fase de pré-análise, fornece um valor bruto de deslocamento, sem considerar o refinamento associado ao comportamento efetivo da laje. Além disso, como este pano não possui paredes apoiadas sobre ele, este pavimento se enquadra de acordo com a tabela 4 em coberturas e varandas, no ítem efeitos estruturais em serviço, se enquadrando no critério abaixo:

$$Flecha = \frac{l}{250} \quad (2)$$

Onde:

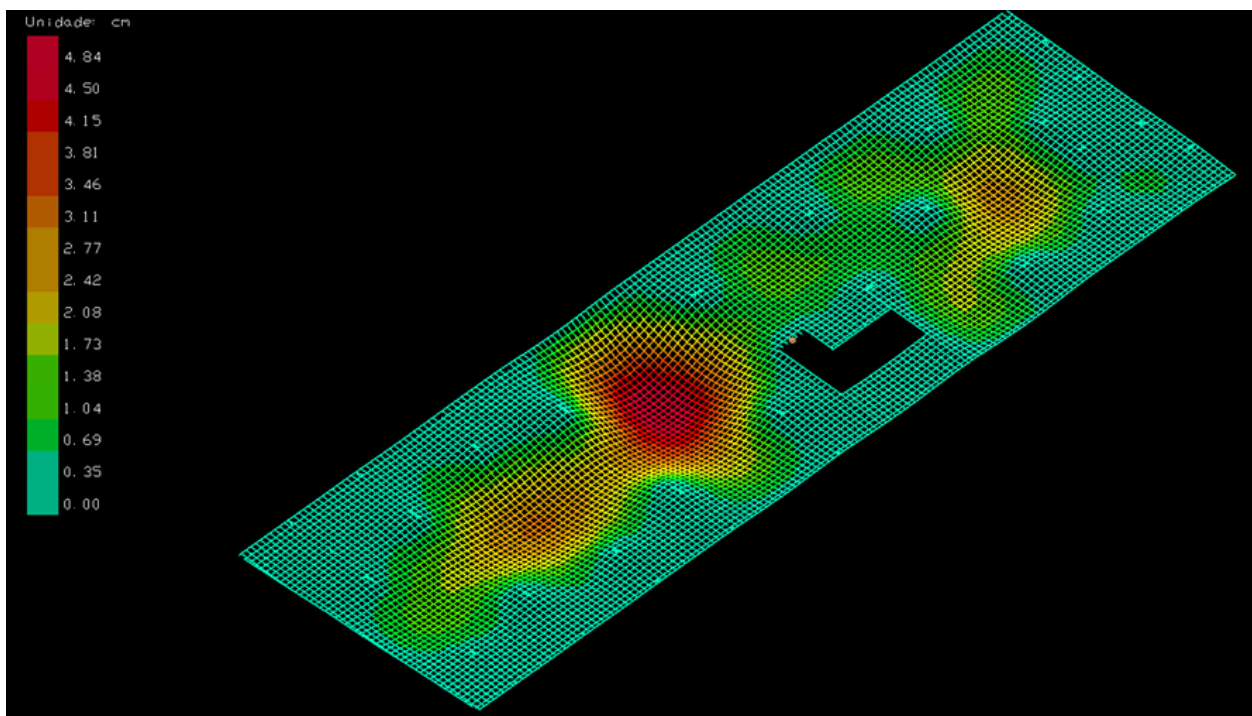
Flecha é a deformação do elemento estrutural;

l é o comprimento do vão livre.

Fazendo assim com que a flecha obtida seja compatível com o desempenho exigido.

Já no caso da laje de cobertura, local que ainda possui alvenaria, a flecha apresentada inicialmente pelo software TQS não representa, por si só, o deslocamento real do pano de laje. Isso ocorre porque o Modelo VI considera também o encurtamento vertical imediato do pilar de apoio. Assim, parte do deslocamento visualizado refere-se à deformação axial do próprio pilar, e não à flecha da laje. Portanto, para se obter a flecha real do elemento, é necessário descontar da flecha total o encurtamento do pilar, isolando apenas a deformação efetiva da laje. Somente após essa correção é possível comparar o deslocamento resultante com os limites normativos, garantindo uma avaliação precisa do desempenho da cobertura.

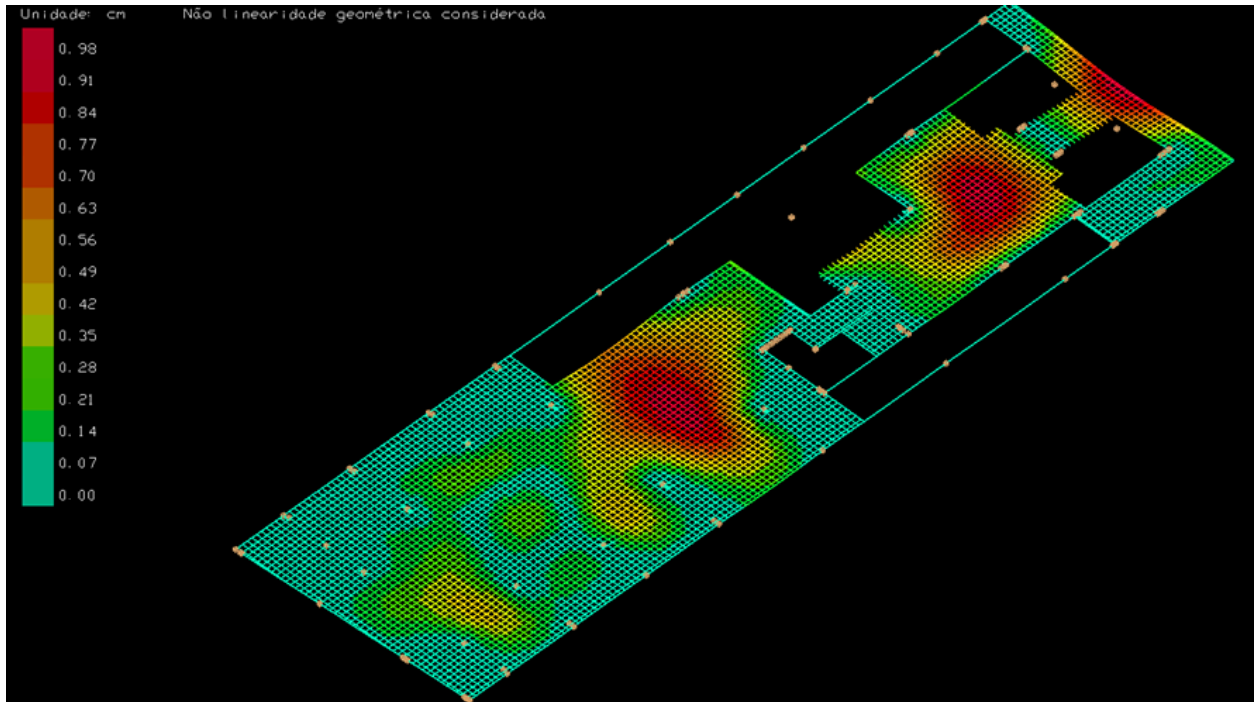
**Figura 59 - Flecha pavimento pilotis solução em concreto protendido**



Fonte: Autoria Própria (2025).

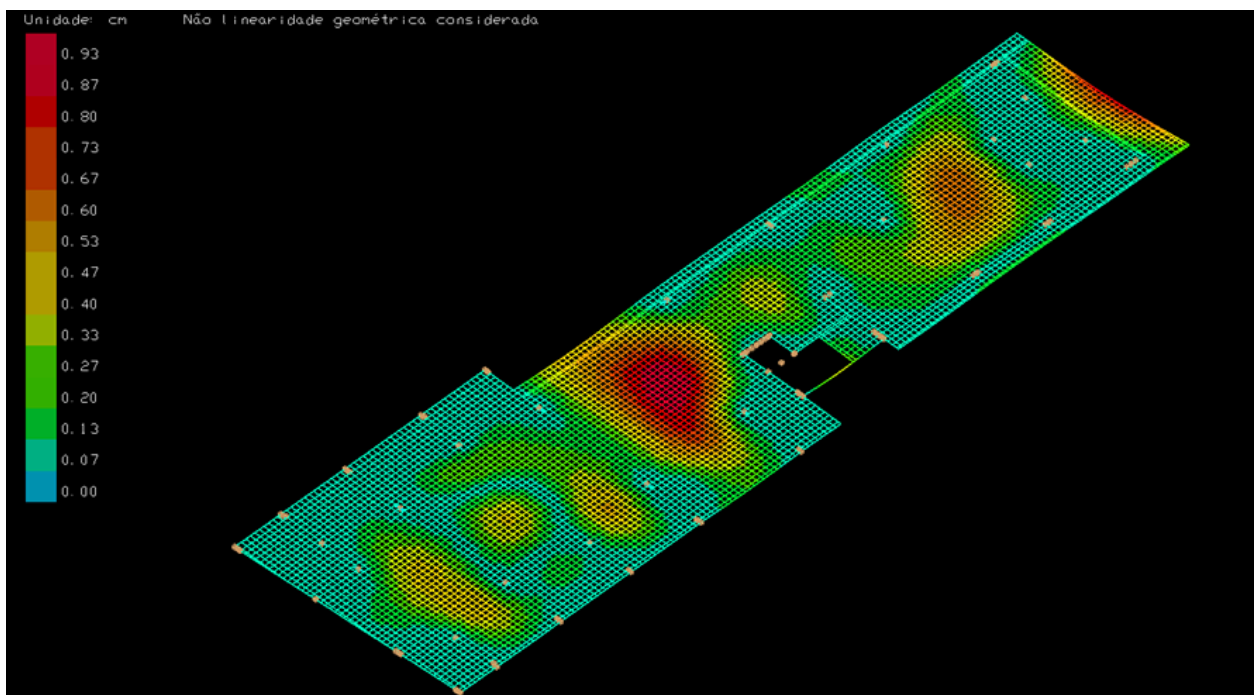
O principal motivo deste pavimento ter uma flecha tão alta em relação às outras é pelo fato deste pavimento ser uma laje de contra piso armado, apoiado sobre o solo e não foi considerado a contribuição do solo para o apoio da laje, além de que, o pilotis conforme citado ao final do item 4.1, não possui cabos protendidos, por este motivo também há uma diferença entre as demais flechas para esta solução, portanto não se deve considerar este pavimento para fins de comparação entre ambas soluções estruturais.

**Figura 60 - Flecha pavimento piso intermediário solução em concreto protendido**



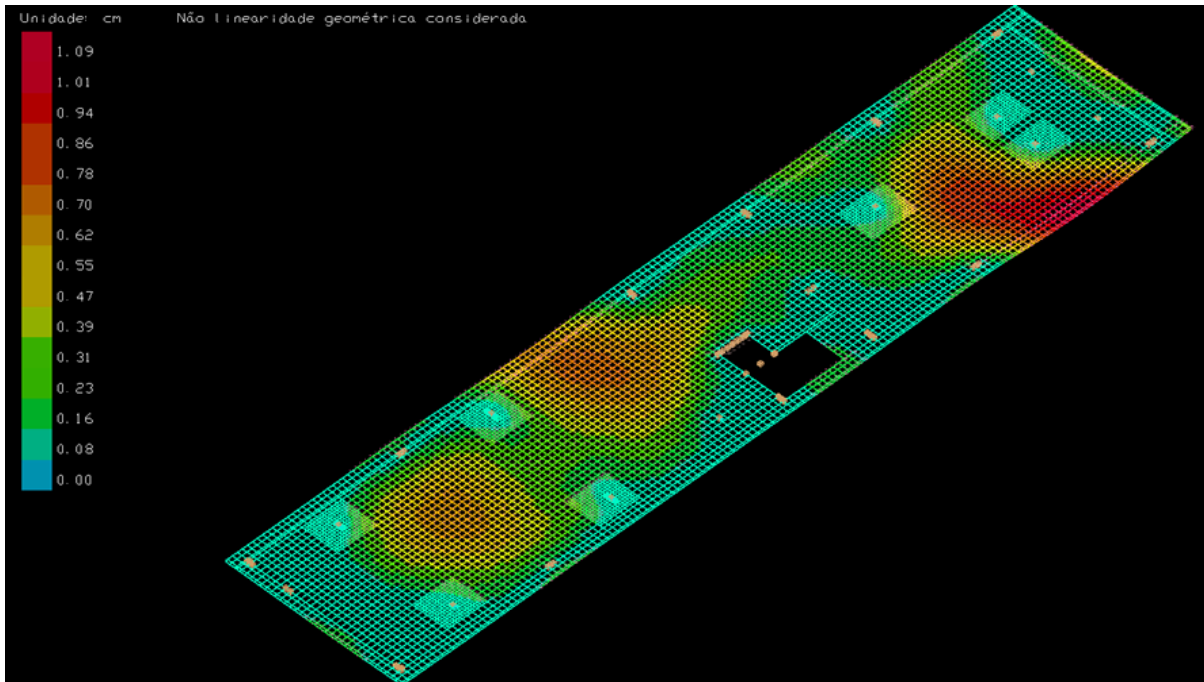
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 61 - Flecha 2º pavimento solução em concreto protendido**



Fonte: Autoria Própria (2025).

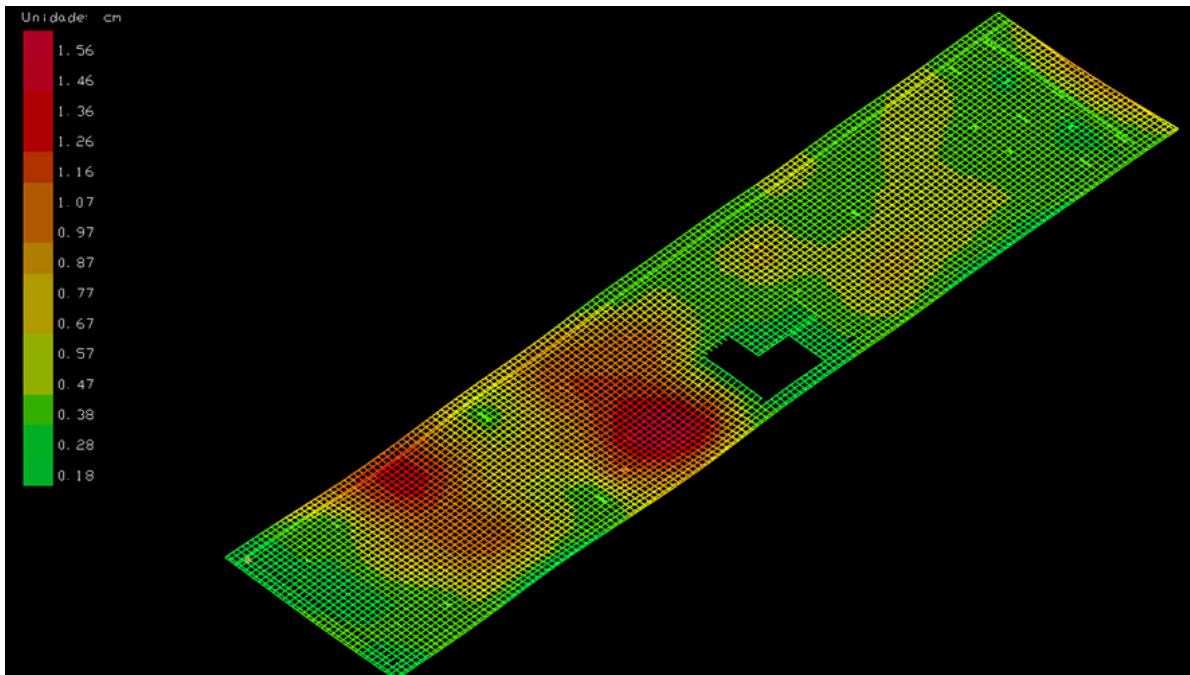
**Figura 62 - Flecha pavimento tipo solução em concreto protendido**



Fonte: Autoria Própria (2025).

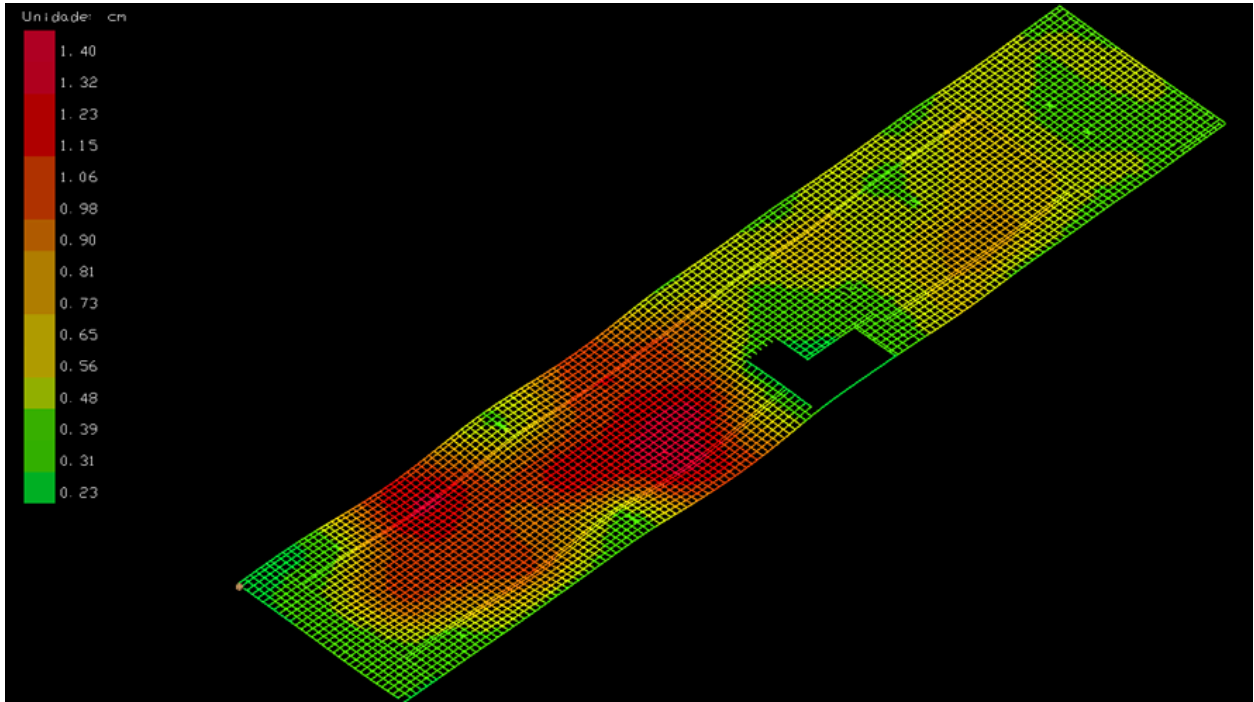
Para o laje intermediária, 2º pavimento e pavimento tipo, a flecha possui um valor de flecha máxima relativamente baixo em comparação com os demais, este fator se dá pelo aumento de espessura da laje e também a utilização dos cabos de protensão.

**Figura 63 - Flecha laje técnica solução em concreto protendido**



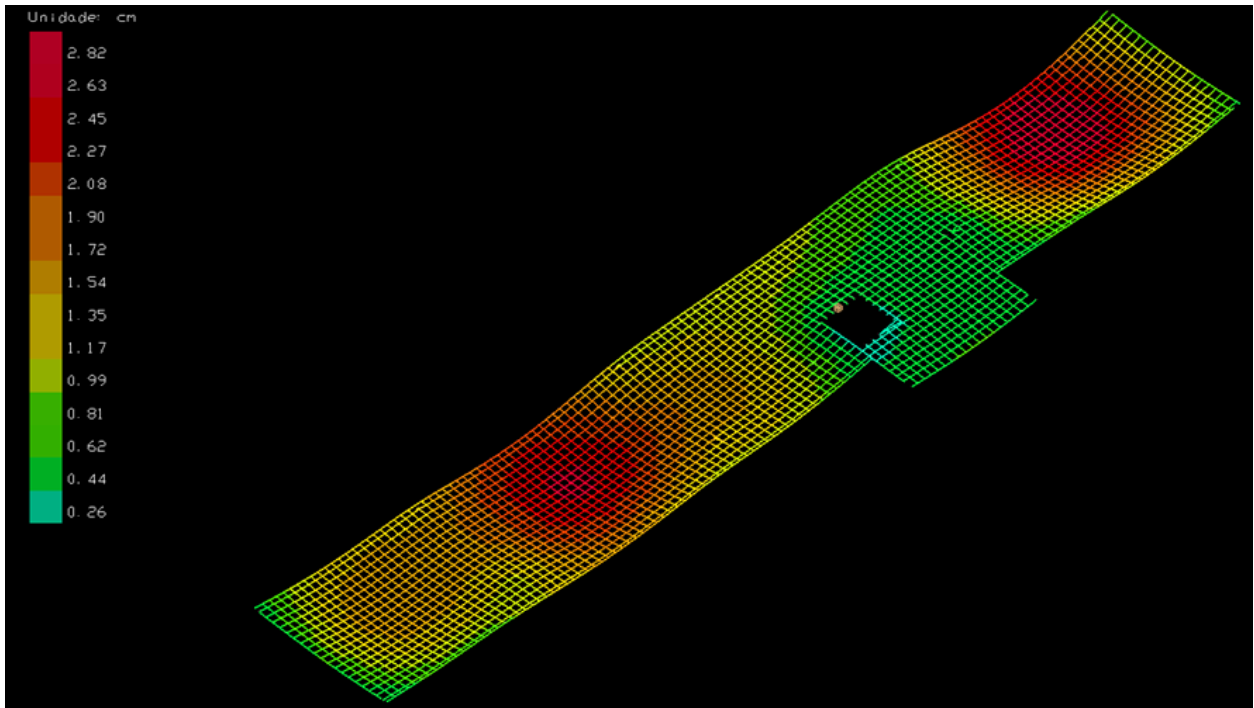
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 64 - Flecha pavimento cobertura solução em concreto protendido**



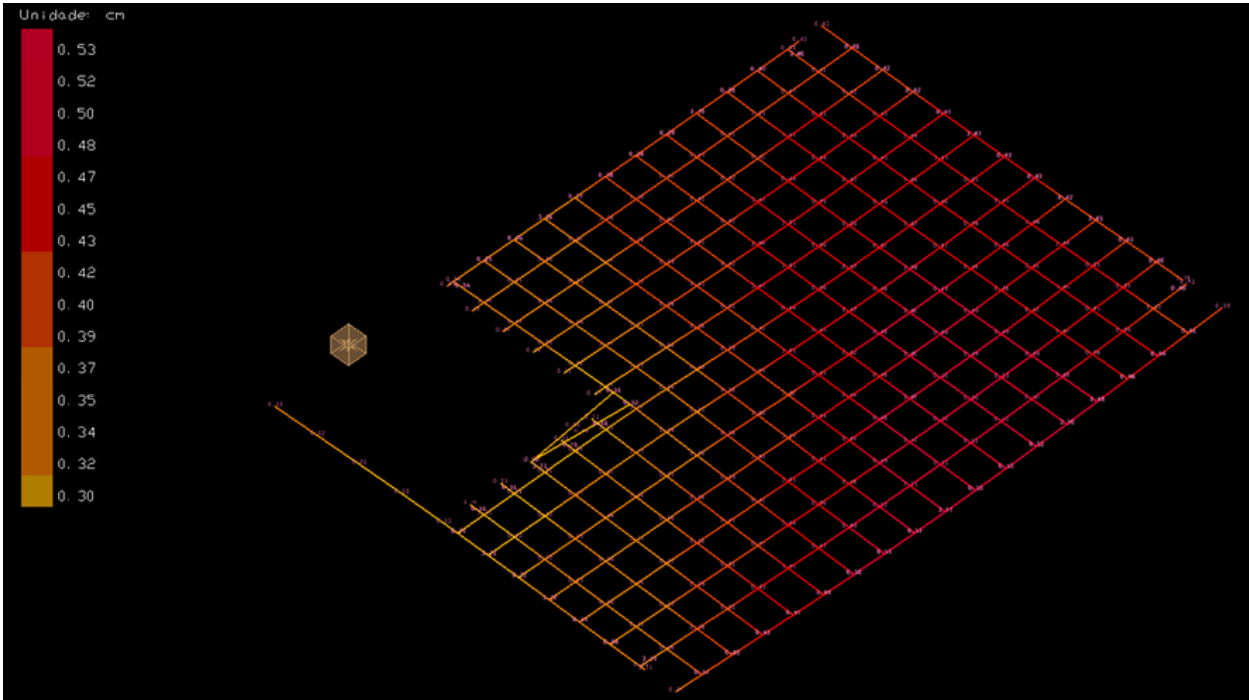
Fonte: Autoria Própria (2025).

**Figura 65 - Flecha barrilete solução em concreto protendido**



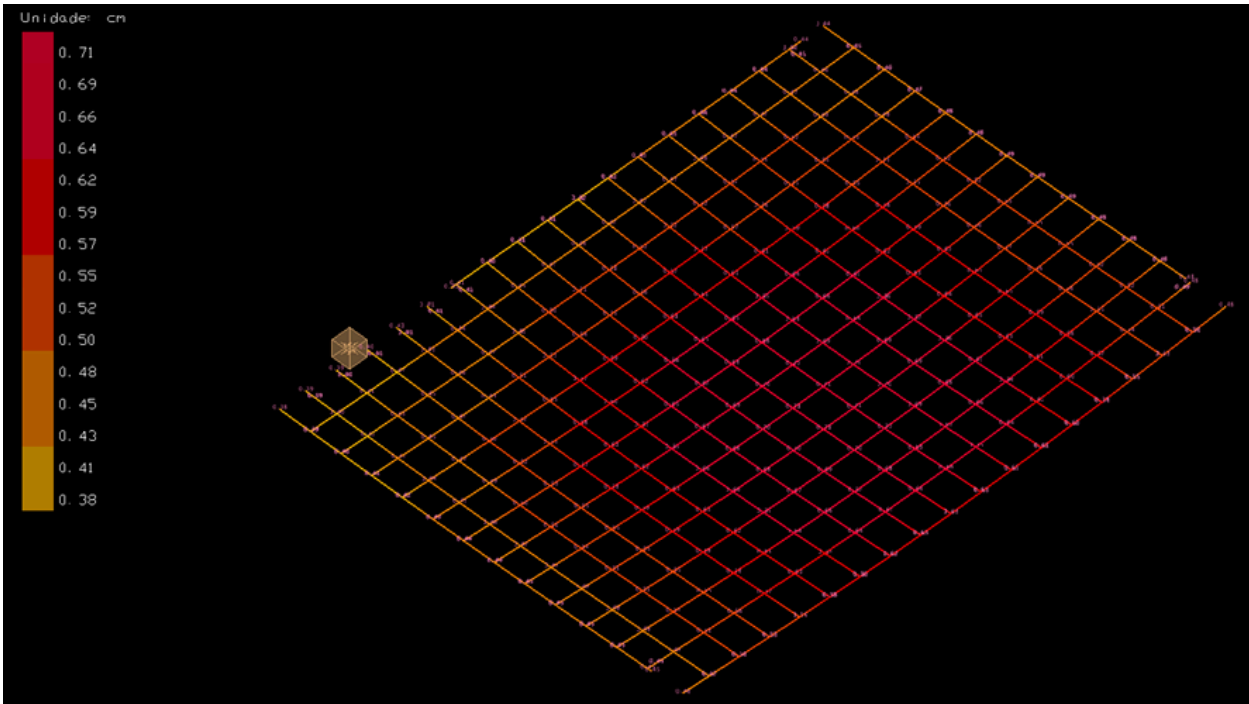
Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 66 - Flecha reservatório solução em concreto protendido



Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 67 - Flecha tampa do reservatório solução em concreto protendido



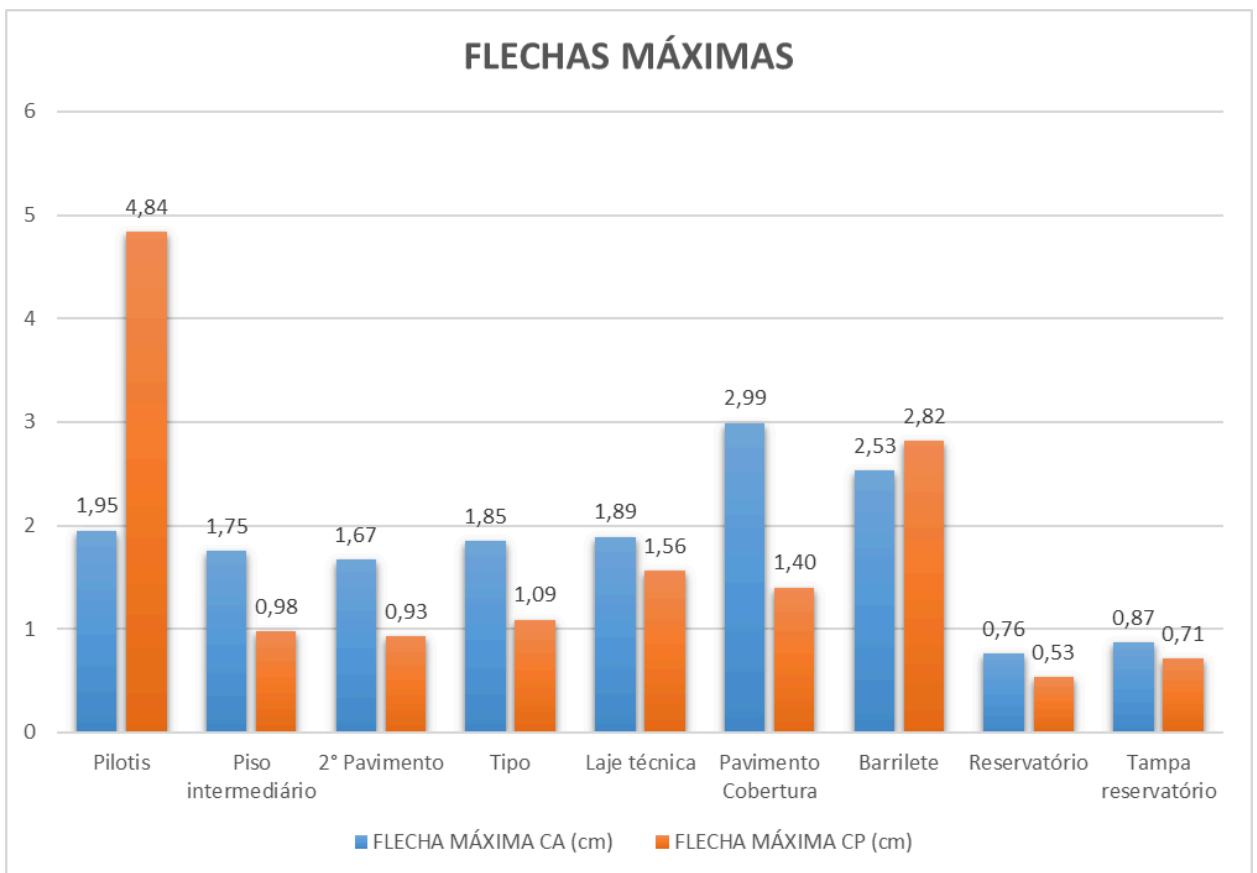
Fonte: Autoria Própria (2025).

O pavimento da cobertura e barrilete utilizou-se do mesmo processo para análise da solução em concreto armado.

Para a cobertura utilizou-se o mesmo processo utilizado no pavimento cobertura em concreto armado, para verificar se a flecha está de acordo com a norma. Já o barrilete, a equação para determinar o cálculo de flecha máxima é alterada para fórmula 2. Com isso ambos pavimentos estão em conformidade com a NBR 8118 (2023).

Os demais pavimentos foram analisados através da diminuição do valor de flecha dos apoios em relação ao maior valor do pano da laje, após esta verificação para cada um dos demais pavimentos, percebeu-se que a norma foi atendida.

**Gráfico 1 - Flechas máxima CA e CP**



Fonte: Autoria Própria (2025).

A análise comparativa das flechas entre as soluções em concreto armado e concreto protendido evidenciou diferenças significativas no comportamento deformacional das lajes, especialmente quando observadas as flechas máximas fornecidas pelo modelo de grelha do software TQS. Na solução em concreto armado, os valores máximos tendem a ser superiores devido à menor rigidez das lajes, cuja espessura é reduzida em relação ao modelo protendido. Já na solução protendida, verificou-se uma diminuição expressiva das flechas máximas nos pavimentos que

possuem protensão, resultado direto tanto da ação dos cabos quanto do aumento das espessuras das lajes, fator determinante para a melhoria da rigidez flexional global.

Entretanto, cabe destacar que alguns pavimentos, como o pilotis, barrilete, reservatório e tampa do reservatório, não possuem cabos de protensão. Nesses níveis, a redução observada nas flechas da solução protendida não ocorre pela presença da protensão, mas exclusivamente pelo incremento de espessura adotado no sistema protendido em comparação ao sistema armado. Assim, a rigidez superior da laje nesses pavimentos explica a diferença favorável mesmo na ausência de cabos.

De forma geral, a solução protendida apresentou flechas máximas menores na maior parte dos pavimentos estruturais, com exceção do barrilete, no qual, conforme citado anteriormente, não possui protensão, reforçando o benefício da protensão quando associada a lajes mais espessas. Já na solução em concreto armado, os maiores deslocamentos refletem a menor rigidez das lajes, especialmente nos pavimentos tipo e intermediário. É importante ressaltar que os valores máximos de flecha obtidos no visualizador de grelhas representam apenas um parâmetro comparativo entre as soluções, pois não correspondem diretamente à flecha real. Ainda assim, a comparação entre os valores brutos evidencia a superioridade da solução protendida em termos de controle das deformações, especialmente nos pavimentos em que a protensão foi efetivamente aplicada.

#### 4.4 Taxa de armadura

A NBR 6118:2023, no item 17.3.5.3.1 e 17.3.5.3.2 estabelece limites rigorosos para a taxa mínima e máxima de armadura longitudinal em pilares, assegurando tanto a segurança estrutural quanto a adequada capacidade de deformação desses elementos.

Para a armadura longitudinal mínima, a norma determina que sua área deve atender à expressão:

$$A_s, \text{mín} = \frac{0,15 \cdot N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 * A_c \quad (3)$$

Onde:

$A_s, \text{mín}$  é a área mínima de armadura longitudinal;

$N_d$  é força normal de cálculo;

$f_{yd}$  é a tensão de escoamento do aço;

$A_c$  é a área de concreto.

Assim, mesmo quando o carregamento vertical é reduzido, a seção deve conter uma quantidade mínima de aço correspondente a 0,4% da área de concreto, evitando que o elemento se torne excessivamente frágil.

Quanto ao limite superior, da armadura longitudinal máxima em pilares deve respeitar a seguinte fórmula:

$$A_{s, \text{máx}} = 0,08 * A_c \quad (4)$$

Onde:

$A_{s, \text{máx}}$  é a área máxima de armadura longitudinal;

$A_c$  é a área de concreto.

Isso significa que a quantidade de aço não pode ultrapassar 8% da área da seção de concreto, é importante destacar que esta porcentagem é válida também na região de transpasse dos pilares, sendo a taxa máxima entre as armaduras.

O desenvolvimento desta solução foi elaborado com especial atenção às taxas de armadura longitudinal de cada pilar em todos os pavimentos. Manteve-se essas taxas sempre abaixo de 4% da área de concreto, para que na emenda de transpasse este valor não supere o limite de 8%, conforme mostrado na Figura abaixo. Todos os pilares foram feitos desta maneira.

Figura 68 -Taxa de armadura dos pilares

PILAR:P1																num: 1 Lances: 1 à 2	
Lance	Título	Seção [cm]	Área [cm2]	NFer	Bitola [mm]	PDD x y	As [cm2]	Taxa [%]	Estr [mm]	C/ [cm]	PP	fck (MPa)	Cobr (cm)	T	Lbd	Ni	2OrdM
2	INTERMED	19.x 60.	1140.0	6	10.0	N N	4.7	0.41	5.0	12.0	N	35.0	3.5	5.5	56.	0.0220	ELOL KAPA
1	PILOTIS	19.x 60.	1140.0	6	10.0	N N	4.7	0.41	5.0	12.0	N	35.0	3.5	15.7	23.	0.0630	----
PILAR:P2																num: 2 Lances: 1 à 2	
Lance	Título	Seção [cm]	Área [cm2]	NFer	Bitola [mm]	PDD x y	As [cm2]	Taxa [%]	Estr [mm]	C/ [cm]	PP	fck (MPa)	Cobr (cm)	T	Lbd	Ni	2OrdM
2	INTERMED	19.x 50.	950.0	6	10.0	N N	4.7	0.50	5.0	12.0	N	35.0	3.5	5.2	56.	0.0209	ELOL KAPA
1	PILOTIS	19.x 50.	950.0	6	10.0	N N	4.7	0.50	5.0	12.0	N	35.0	3.5	16.2	23.	0.0648	----
PILAR:P3																num: 3 Lances: 1 à 2	
Lance	Título	Seção [cm]	Área [cm2]	NFer	Bitola [mm]	PDD x y	As [cm2]	Taxa [%]	Estr [mm]	C/ [cm]	PP	fck (MPa)	Cobr (cm)	T	Lbd	Ni	2OrdM
2	INTERMED	19.x 50.	950.0	6	10.0	N S	4.7	0.50	5.0	12.0	N	35.0	3.5	2.6	114.	0.0106	ELOL N,M,1/x
1	PILOTIS	19.x 50.	950.0	6	10.0	N N	4.7	0.50	5.0	12.0	N	35.0	3.5	13.7	26.	0.0547	----
PILAR:P4																num: 4 Lances: 1 à 2	
Lance	Título	Seção [cm]	Área [cm2]	NFer	Bitola [mm]	PDD x y	As [cm2]	Taxa [%]	Estr [mm]	C/ [cm]	PP	fck (MPa)	Cobr (cm)	T	Lbd	Ni	2OrdM
2	INTERMED	19.x 50.	950.0	6	10.0	N S	4.7	0.50	5.0	12.0	N	35.0	3.5	2.8	114.	0.0110	ELOL N,M,1/x
1	PILOTIS	19.x 50.	950.0	6	10.0	N N	4.7	0.50	5.0	12.0	N	35.0	3.5	15.9	26.	0.0638	----
PILAR:P5																num: 5 Lances: 1 à 2	
Lance	Título	Seção [cm]	Área [cm2]	NFer	Bitola [mm]	PDD x y	As [cm2]	Taxa [%]	Estr [mm]	C/ [cm]	PP	fck (MPa)	Cobr (cm)	T	Lbd	Ni	2OrdM
2	INTERMED	19.x 50.	950.0	6	10.0	N S	4.7	0.50	5.0	12.0	N	35.0	3.5	2.8	114.	0.0110	ELOL N,M,1/x
1	PILOTIS	19.x 50.	950.0	6	10.0	N N	4.7	0.50	5.0	12.0	N	35.0	3.5	14.0	26.	0.0561	----
PILAR:P6																num: 6 Lances: 1 à 2	
Lance	Título	Seção [cm]	Área [cm2]	NFer	Bitola [mm]	PDD x y	As [cm2]	Taxa [%]	Estr [mm]	C/ [cm]	PP	fck (MPa)	Cobr (cm)	T	Lbd	Ni	2OrdM
2	INTERMED	19.x 50.	950.0	6	10.0	N S	4.7	0.50	5.0	12.0	N	35.0	3.5	2.5	114.	0.0101	ELOL N,M,1/x
1	PILOTIS	19.x 50.	950.0	6	10.0	N N	4.7	0.50	5.0	12.0	N	35.0	3.5	12.7	26.	0.0507	----
PILAR:P7																num: 7 Lances: 1 à 2	
Lance	Título	Seção [cm]	Área [cm2]	NFer	Bitola [mm]	PDD x y	As [cm2]	Taxa [%]	Estr [mm]	C/ [cm]	PP	fck (MPa)	Cobr (cm)	T	Lbd	Ni	2OrdM
2	INTERMED	19.x 50.	950.0	6	10.0	N S	4.7	0.50	5.0	12.0	N	35.0	3.5	1.8	121.	0.0072	ELOL N,M,1/x
1	PILOTIS	19.x 50.	950.0	6	10.0	N N	4.7	0.50	5.0	12.0	N	35.0	3.5	7.4	23.	0.0297	----

Fonte: Autoria Própria (2025).

#### 4.5 Planta de carga

A análise comparativa das plantas de cargas das duas soluções estruturais, concreto armado convencional e concreto protendido, evidencia diferenças significativas quanto à distribuição e ao valor final de cargas transmitidas às fundações conforme mostra o apêndice D e apêndice E. Embora o modelo protendido apresente uma configuração estrutural mais racional, com redução no número de vigas e pilares, o que tende a simplificar a concepção e melhorar o aproveitamento arquitetônico, essa vantagem não se refletiu em menores cargas globais. Pelo contrário, o consumo estrutural associado às maiores espessuras de lajes, necessárias para garantir o funcionamento adequado da protensão, resultou em um acréscimo no peso próprio da edificação.

Na solução em concreto armado, o valor total de carga transmitida à fundação foi de 7014,12 toneladas, enquanto na solução protendida o total alcançou

8544,90 toneladas, representando um aumento na ordem de aproximadamente 18%. Esse comportamento é diretamente associado às espessuras das lajes adotadas. No sistema protendido, grande parte dos pavimentos conta com lajes de 24 cm, com poucas exceções variando entre 16 cm, 22 cm e 19 cm. Já no sistema em concreto armado, as espessuras são substancialmente menores, variando predominantemente entre 14 cm e 16 cm, com apenas alguns trechos específicos alcançando 20 cm ou 22 cm.

Portanto, ainda que a solução protendida tenha reduzido a quantidade de elementos verticais e vigas, o aumento significativo da espessura das lajes, elemento que representa grande parte do volume de concreto de uma edificação, resultou em cargas superiores sobre a fundação. Assim, constata-se que, para este empreendimento em particular, o sistema protendido apresentou uma demanda maior quanto a carga total de projeto, enquanto o sistema em concreto armado, com lajes com espessuras menores, mostrou-se estruturalmente mais leve.

**Gráfico 2 – Peso total edificação**



Fonte: Autoria Própria (2025).


#### **4.6 Armadura de punção e colapso progressivo**

Para fazer o detalhamento das armaduras de punção e colapso progressivo, foi utilizado um software chamado PuncV1. Ele é um software desenvolvido para verificar e detalhar estas armaduras, conforme os critérios estabelecidos pela NBR 6118. Com ele é possível avaliar e detalhar, de forma rápida e precisa, se a laje atende à capacidade resistente mínima frente aos esforços atuantes.

Para que seja possível realizar o detalhamento destas armaduras, é necessário ter as cargas atuantes em cada pilar, o apêndice N consta estas informações, posicionamento do pilar (centro, canto ou borda), a seção do pilar, momentos fletores, além de informações referentes a laje, como a espessura ( $h$ ),  $d$  (altura útil), cobrimentos inferiores e superiores e também  $f_{ck}$  (resistência característica à compressão do concreto) e  $F_{yk}$  (resistência ao escoamento do aço) que são informações referentes ao material. As figuras 69 e 70 ilustram como estes dados são inseridos.

Figura 69 -Dados da laje do pavimento tipo e pilar 7

*Dados de entrada*



LAJE

*Dimensões:*

h:  | d:


*Cobrimento:*

Sup:  | Inf:


*Material:*

Fck:  | Fyk:

---



ADICIONAR CAPITEL



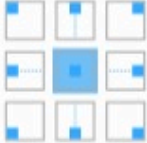
PILAR 7

*Dimensões:*

Retangular
  Circular

b:  | h:

*Posição:*



*Reações:*

Fk:

Mxk:  | Myk:

Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 70 - Dados das armaduras

⚡
Armadura Passiva

Concentrada

Distribuída

Definir

Calcular

*Eixo x:*

Armadura:  $\emptyset$  12.5 v C/ 10 cm

*Eixo y:*

Armadura:  $\emptyset$  12.5 v C/ 10 cm

⚡ ADICIONAR ARMADURA ATIVA

*Crêterios:*

Majorador  $\tau_{Rd2}$ : 1

Armar pun o

Estribos

Conectores

Armar uniformemente

Diâmetro da bitola: 10 v

Qtd. mín. de ramos por linha: 3

Qtd. mín. de linhas: 3

Qtd. máx. de diagonais: 5

*Colapso Progressivo:*

Verificar

*Eixo x:*

Armadura: Qtd 6  $\emptyset$  16 v

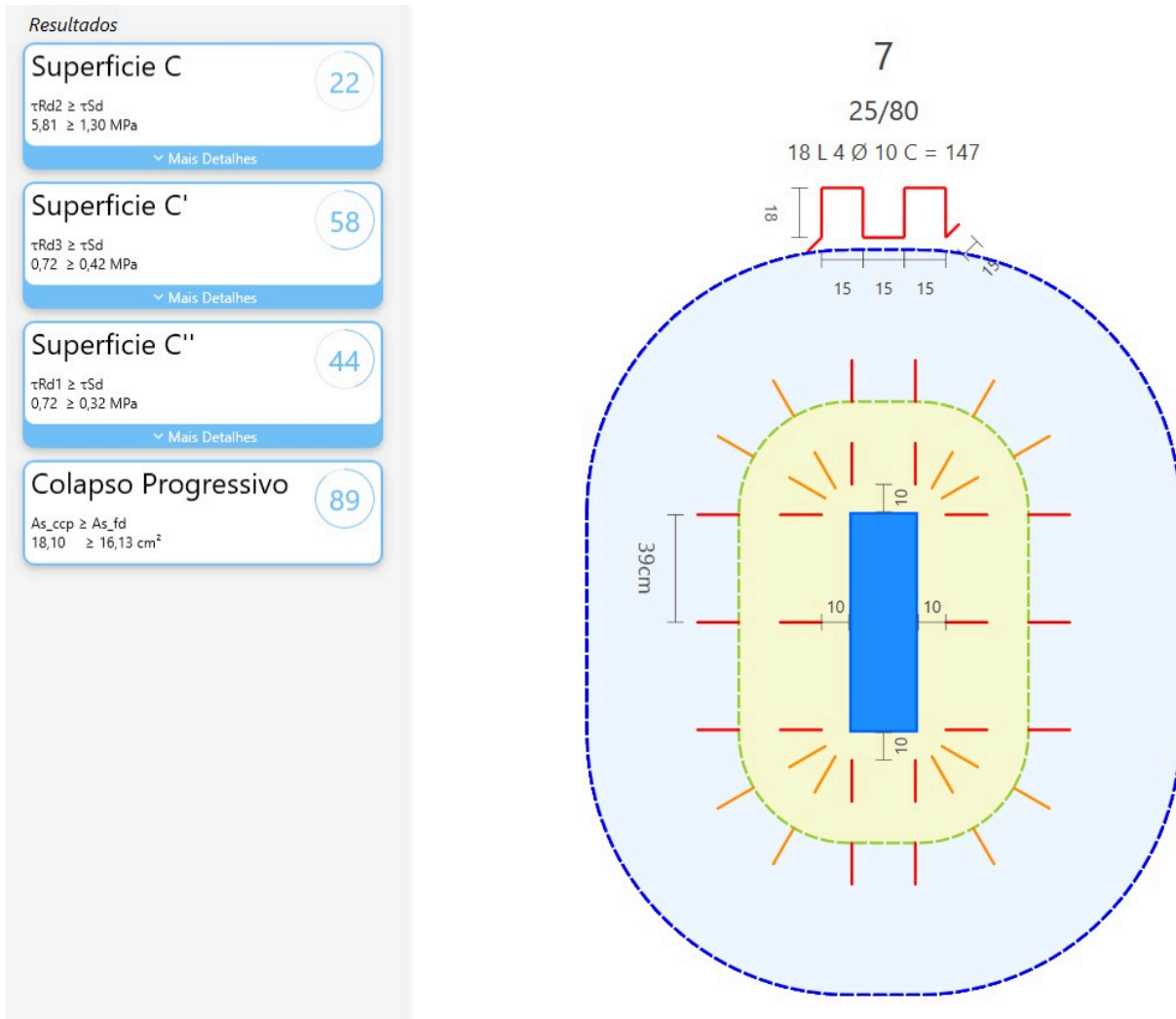
*Eixo y:*

Armadura: Qtd 3  $\emptyset$  16 v

Fonte: Autoria Própria (2025).

  importante dizer que para escolha das bitolas das armaduras e espaçamento,   realizado um processo de tentativa e erro até que o programa nos indica se está em conformidade com a NBR 6118.

Figura 71 - Detalhamento e dados de cálculo



Fonte: Autoria Própria (2025).

Como pode-se notar, as conferências necessárias para o detalhamento estão de acordo com a norma. A armadura de colapso progressivo não está desenhada na figura acima, apenas calculada conforme a figura 70.

Assim, utilizou-se a mesma metodologia para detalhar as armaduras de punção e colapso progressivo para os demais pilares da solução em protensão.

#### 4.7 Perdas da força de protensão

No software TQS, as perdas de protensão são tratadas como um critério de cálculo previamente definido pelo projetista, permitindo estabelecer um valor percentual máximo a ser considerado na análise estrutural. Esse parâmetro influencia diretamente a determinação da protensão efetiva que permanecerá atuando na estrutura ao longo

do tempo. Embora a norma forneça fundamentos para o cálculo detalhado das perdas imediatas e diferidas, na prática profissional adota-se, por experiência acumulada, um valor que gira em torno de no máximo 20% a 25% de perdas totais. Esse valor é amplamente empregado em projetos de lajes protendidas por representar uma estimativa segura e compatível com as condições reais de execução, garantindo que o dimensionamento seja conservador e que a protensão efetiva atenda adequadamente às exigências de desempenho e segurança estrutural.

**Figura 72 -Critérios para perdas da força de protensão**

Bitola (mm)	Pinicial (tf)	P <sub>1,0</sub> (tf)	Pinfin (tf)	Prupt (tf)	Pescda (tf)	%Perda	F <sub>pyk</sub> (MPa)	F <sub>ptk</sub> (MPa)	dw (mm)
12.7	15.00	13.50	12.02	18.70	16.83	11	1710	1870	7
15.2	20.00	18.73	15.92	26.60	23.92	15	1710	1900	10

Protensão (forças, perdas)	
E <sub>p</sub> (ELU)	196000 MPa
E <sub>p</sub> (ELS)	196000 MPa
E <sub>s</sub>	210000 MPa
<b>Atrito e perdas</b>	
Coeficiente de atrito (cordoalhas aderentes)	0.2
Coeficiente de atrito (cordoalhas engraxadas)	0.07
Coeficiente de perda/metro (cordoalhas aderentes)	0,01 /m
Coeficiente de perda/metro (cordoalhas engraxadas)	0,0035 /m

Fonte: Autoria Própria (2025).

Importante ressaltar que os valores de perdas progressivas já estão sendo levados em conta no programa no momento dos cálculos, conforme mostrado na figura acima, onde os valores de perdas para bitola de 12,7 mm foi de 11% de perda, já para bitola de 15,2 mm foi de 15% de perda.

#### 4.8 Análise qualitativa

A análise qualitativa das duas soluções estruturais evidencia diferenças significativas na forma como cada sistema se relaciona com a arquitetura, com a

racionalidade construtiva e com a eficiência espacial. A solução em concreto armado segue a tradição estrutural amplamente utilizada no Brasil, baseada em uma malha de vigas e lajes que condicionam o posicionamento dos elementos arquitetônicos. Essa maior quantidade de vigas internas limita a flexibilidade no layout, influencia a distribuição das instalações prediais e, em alguns casos, demanda elementos complementares, como vigas de transição, para compatibilizar aberturas, acessos e volumetrias específicas do projeto. Trata-se de um sistema funcional, robusto e consolidado, porém mais dependente da geometria das vigas para sua estabilidade e desempenho.

Já a solução em concreto protendido, conforme discutido na fundamentação teórica, apresenta vantagens qualitativas marcantes, especialmente no que diz respeito à liberdade arquitetônica e à racionalização estrutural. As lajes planas protendidas dispensam a maior parte das vigas internas, resultando em ambientes mais limpos e versáteis, além de facilitarem a passagem de instalações e permitirem uma relação mais livre entre os espaços. As poucas vigas presentes aparecem apenas quando necessárias para atender requisitos específicos da arquitetura, como o fechamento de vãos de esquadrias ou delimitações volumétricas. A maior espessura das lajes confere rigidez superior ao conjunto estrutural e contribui para um comportamento mais uniforme dos pavimentos, reforçando o caráter de diafragma rígido e proporcionando maior continuidade entre os elementos.

Em relação à manutenção das estruturas, o sistema em concreto armado apresenta procedimentos amplamente conhecidos e consolidados, com inspeções e intervenções relativamente simples, especialmente em função da maior familiaridade técnica dos profissionais com esse tipo de estrutura. No entanto, a presença de maior quantidade de vigas e elementos estruturais pode aumentar as áreas suscetíveis à fissuração, infiltrações e patologias associadas ao cobrimento das armaduras, demandando atenção periódica. Por sua vez, as estruturas em concreto protendido, quando executadas com controle tecnológico rigoroso e concretos de melhor desempenho, tendem a apresentar menor incidência de fissuras e deformações ao longo do tempo, o que pode resultar em menor necessidade de manutenção corretiva. Em contrapartida, eventuais intervenções em estruturas protendidas exigem maior cautela e mão de obra especializada, devido à presença dos cabos de protensão, o que torna fundamental a adoção de boas práticas de projeto, execução e inspeção ao longo da vida útil da edificação.

Embora ambas as soluções atendam plenamente aos requisitos estruturais do empreendimento, notou-se que a solução em concreto protendido foi significativamente melhor, na questão qualitativa, principalmente levando em conta a relação da arquitetura com a estrutura. A possibilidade de eliminar grande parte das vigas internas, reduz de forma expressiva as limitações impostas ao projeto arquitetônico. Na prática, isso se traduz em ambientes mais contínuos, maior liberdade para posicionamento de esquadrias, melhor aproveitamento dos espaços e maior flexibilidade futura em eventuais reformas.

Além disso, a ausência de vigas internas minimiza um dos problemas mais recorrentes na compatibilização de projetos, a necessidade de furações ou desvios em vigas para passagem de instalações, algo que no concreto armado seria um ponto de conflitos entre arquitetura, estrutura e instalações, diferentemente do sistema de laje lisa protendida, esse risco é praticamente eliminado.

Dessa forma, a solução protendida demonstra superioridade qualitativa no atendimento às intenções arquitetônicas do empreendimento, conciliando melhor desempenho estrutural com menor interferência na arquitetura.

#### **4.9 Análise quantitativa**

A análise quantitativa das duas soluções estruturais foi realizada com base nos resultados gerados pelo software TQS ao término das modelagens de cada sistema. A partir do processamento completo dos modelos estruturais, foram extraídos os quantitativos de volume total de concreto, área de forma e consumo de aço e cabo protendido. Esses dados permitiram avaliar de forma objetiva o impacto que cada solução exerce sobre a obra, em termos de demanda de materiais. A sistematização dos quantitativos possibilitou identificar diferenças expressivas entre os modelos, permitindo uma comparação clara, imparcial e fundamentada sobre o custo de insumos de cada tipologia.

Tabela 05 - Custos dos insumos

SOLUÇÃO	INSUMOS	QUANTIDADE	VALOR UN.	VALOR TOTAL
CA	PROTENDIDO (Kg)	0,00	R\$24,00	R\$0,00
CA	CONCRETO SUPRA ESTRUTURA (m3)	1.442,00	R\$493,00	R\$710.906,00
CA	AÇO SUPRA ESTRUTURA (Kg)	149.940,00	R\$4,75	R\$712.215,00
CA	MADEIRITE (m2) - sem reaproveitamento	10.409,00	R\$96,00	R\$999.264,00
			<b>TOTAL</b>	<b>R\$2.422.385,00</b>
CP	PROTENDIDO (Kg)	27.000	R\$24,00	R\$648.000,00
CP	CONCRETO SUPRA ESTRUTURA (m3)	1.574,00	R\$493,00	R\$775.982,00
CP	AÇO SUPRA ESTRUTURA (Kg)	114.000,00	R\$4,75	R\$541.500,00
CP	MADEIRITE (m2) - sem reaproveitamento	8.837,00	R\$96,00	R\$848.352,00
			<b>TOTAL</b>	<b>R\$2.165.834,00</b>

Fonte: Autoria Própria (2025).

Com base na tabela 05, a solução em concreto protendido apresentou uma economia de R\$256.551,00, tendo uma economia de aproximadamente 10,5%.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar duas soluções estruturais aplicáveis a um mesmo empreendimento multifamiliar, uma solução em concreto

protendido, desenvolvida integralmente no escopo deste estudo e uma solução em concreto armado, cujos resultados estruturais já se encontravam previamente definidos e foram utilizados para fins comparativos. Ambas as soluções partiram do mesmo projeto arquitetônico e atenderam aos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023, comprovando sua viabilidade estrutural e segurança quanto aos estados limites últimos e de serviço.

A solução em concreto armado apresentou comportamento estrutural satisfatório e execução amplamente conhecida no mercado da construção civil, caracterizando-se como uma alternativa tecnicamente segura e de fácil assimilação pelos profissionais. Contudo, a necessidade de um maior número de vigas internas impôs restrições à arquitetura, gerou maior interferência com os projetos de instalações prediais e exigiu maior atenção durante a execução, especialmente em ambientes que demandam maior flexibilidade espacial e integração entre disciplinas.

Em contrapartida, a solução em laje plana protendida demonstrou desempenho superior do ponto de vista técnico e funcional. A redução significativa de vigas internas permitiu melhor atendimento às diretrizes arquitetônicas do empreendimento, proporcionando ambientes mais livres, maior regularidade dos pavimentos e menor incidência de incompatibilizações entre os projetos. Do ponto de vista estrutural, mesmo com o aumento do peso da edificação, a associação da protensão ao aumento da espessura das lajes resultou em melhor controle das deformações, comportamento mais uniforme dos pavimentos e atendimento mais eficiente aos estados limites de serviço, especialmente no que se refere às flechas.

A análise quantitativa, apesar de não ter sido levado em conta as fundações, evidenciou diferenças relevantes entre as soluções, destacando-se o menor custo global estimado da solução em concreto protendido quando comparada à solução em concreto armado, mesmo com o aumento do volume de concreto decorrente das lajes mais espessas. Esse resultado está associado à racionalização do sistema estrutural, à redução do número de vigas e pilares e à maior eficiência no consumo de materiais, refletindo positivamente nos custos globais da estrutura.

Dessa forma, sob uma análise global, tem-se que a solução em concreto protendido se mostrou superior à solução em concreto armado para o empreendimento em estudo. Além de apresentar melhor desempenho estrutural, a solução protendida atendeu de maneira mais eficiente às demandas arquitetônicas e apresentou vantagem

econômica na análise quantitativa e qualitativa, consolidando-se como a alternativa estrutural mais adequada do ponto de vista do engenheiro projetista e do custo do empreendimento. Ressalta-se, contudo, que a adoção desse sistema requer controle tecnológico rigoroso e mão de obra especializada, fatores essenciais para que seus benefícios sejam plenamente alcançados.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Como continuidade ao estudo desenvolvido, sugere-se que trabalhos futuros avancem para análise financeira. a partir das mesmas modelagens apresentadas, recomenda-se a elaboração de um orçamento completo, contemplando quantitativos de materiais, produtividade, mão de obra, equipamentos e custos indiretos.

Dessa forma, seria possível avaliar não apenas as diferenças estruturais analisadas neste trabalho, mas também determinar, de maneira fundamentada, qual sistema apresenta melhor relação custo-benefício para edificações de características semelhantes. Essa etapa complementar a pesquisa ao permitir uma conclusão mais abrangente, unindo desempenho técnico e viabilidade econômica, oferecendo subsídios importantes para a tomada de decisão em projetos reais.

## 6 REFERÊNCIAS

ALENCAR, Robério Hermano Coelho. COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO E CONCRETO ARMADO: ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA. 2018. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2018.

ALMEIDA FILHO, F. M.. Estruturas de pisos de edifícios com a utilização de cordoalhas engraxadas. 2002. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.

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

BASTOS, P. S. dos S. Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado. Universidade Estadual Paulista – UNESP, Bauru, 2006.

BASTOS, P. S. dos S. Lajes de concreto: estruturas de concreto I. Bauru: Universidade Estadual Paulista - Departamento de Engenharia Civil, 2015.

BASTOS, P. SÉRGIO. Fundamentos do concreto armado, 2019.

BASTOS, Paulo Sérgio. FUNDAMENTOS DO CONCRETO PROTENDIDO. Bauru: Universidade Estadual Paulista Unesp, 2025. 266 p. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/Protendido/Ap.%20Protendido.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2026.

BRANDÃO, A. M. S. Qualidade e Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado – Aspectos relativos ao projeto. Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 1998.

BRANDÃO, Ana Maria da Silva. Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto. 1998. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

BUCHAIM, R. Concreto protendido: Tração axial, flexão simples e força cortante. 1. ed. Londrina: Eduel, v.1. 2007.

CARVALHO, R. C. **Análise não-linear de pavimentos de edifícios de concreto através da analogia de grelha.** 1994. 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. D. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. 3. ed. São Carlos – SP, 2012.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo A NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: Edufscar - Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2014.

CASTRO, S. V. Concreto Protendido - Vantagens e desvantagens dos diferentes processos de protensão do concreto nas estruturas. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

CATÁLOGO DIGITAL DE DETALHAMENTO DA CONSTRUÇÃO. Lajes Nervuradas. 2012. <[https://cddcarqfeevale.wordpress.com/2012/07/laje\\_nervurada.jpg](https://cddcarqfeevale.wordpress.com/2012/07/laje_nervurada.jpg)>. Acesso em: 09 de julho de 2025.

EMERICK, A. A. Projeto e execução de lajes protendidas. 2002, Brasília

EMERICK, A. A. Projeto e execução de lajes protendidas. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2005.

FAJERSZTAJN, H. Fôrmas para Concreto Armado: Aplicação para o Caso do Edifício. São Paulo, 1987. 247p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

FARIA, M. P. Estruturas para edifícios em concreto armado: análise comparativa de soluções com lajes convencionais, lisas e nervuradas. 2010. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. Sistemas estruturais de lajes sem vigas: subsídeos para o projetos e execução. 1989. 276 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

FIGUEIREDO, Bárbara Doumith Oliveira Sobrinho Paes; PRICILA, Miranda Becho Rettore. ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE SISTEMAS ESTRUTURAIS EM CONCRETO ARMADO E EM CONCRETO PROTENDIDO. 2020. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Presidente Antônio Carlos, Barbacena, 2020.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GUIMARÃES, M. S.; SILVA, C. R.; SILVA, J. R.; SANTOS, I. F.; ZÚÑIGA, L. de O. Comparativo da utilização de diferentes tipos de lajes em edifício de concreto armado. REVISTA MIRANTE, Anápolis (GO), v. 10, n. 1, p. 226-245, jun. 2017.

INFORSATO, T. B. Considerações sobre o projeto, cálculo e detalhamento de vigas pré-fabricadas protendidas com aderência inicial em pavimentos de edificações.

Dissertação de mestrado do Programa de Pós-graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2009.

KIMURA, Alio. Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios com uso de sistemas computacionais. São Paulo: Pini Ltda, 2007.

LOUREIRO, G. J. Projeto de lajes lisas com cordoalhas engraxadas. In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO. 2006, São Paulo. Anais. São Paulo: p.1732-1755.

MELLO, A. L. V. Cálculo de lajes lisas com protensão parcial e limitada. Dissertação de pós-graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos – SP, 2005.

MONCAYO, W. J. Z. Análise de Segunda Ordem Global em Edifícios com Estrutura de Concreto Armado. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2011.

PACHECO, Artemio Luiz Lessa; RIBEIRO, Bruna Rishelle dos Santos. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJE MACIÇA SIMPLES DE CONCRETO ARMADO E CONCRETO PROTENDIDO NÃO ADERENTE: uma abordagem bibliográfica. 2018. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Cesmac, Maceió, 2018.

PFEIL, Walter. Concreto Protendido: introdução. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 1984. 204 p.

PILOTTO NETO, E. Caderno de receitas de concreto armado: Lajes. Vol. 3. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

ROSA, Patrick Eleutério da. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MODELOS CONSTRUTIVOS DO CONCRETO ARMADO E DO CONCRETO PROTENDIDO: análise de uma edificação multifamiliar. 2021. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2021.

SALGADO, J. Estruturas na construção civil. São Paulo: Érica, 2014.

SANTOS, R. E. A Cultura do Concreto Armado no Brasil: Educação e Deseducação dos Produtores do Espaço Construído. PUC - MG. Minas Gerais, 2006.

SCHELEIDER, Avner Augusto; SILVA, Mayara Di Castro. ANÁLISE COMPARATIVA DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL E DESEMPENHO CONSTRUTIVO DE LAJES LISAS MACIÇAS EM CONCRETO ARMADO VERSUS CONCRETO PROTENDIDO: estudo de caso aplicado em tqs. 2017. 156 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SCHMID, M. T. Concreto protendido: Publicação técnica. São Paulo, 2012. 31 p.

SCHMID, M. T. Lajes Planas Protendidas. 3ª edição, 2009.

SILVA, L. P. Estudo comparativo entre lajes nervuradas e maciças em função dos vãos entre apoios. 2010. 85f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VERÍSSIMO, G. de S.; CÉSAR Jr, K. M. L. Concreto Protendido: fundamentos básicos. Viçosa-MG, 1998.

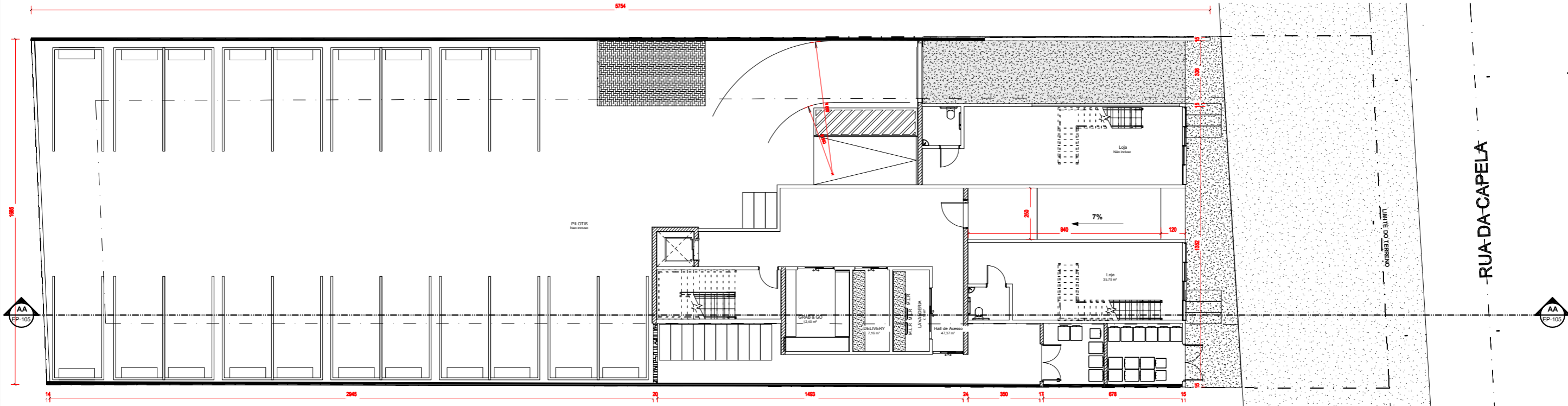
VIERO, William Gallina. COMPARAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE LAJE MACIÇA EM CONCRETO ARMADO E LAJE PLANA EM CONCRETO PROTENDIDO

EM UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR. 2023. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023.

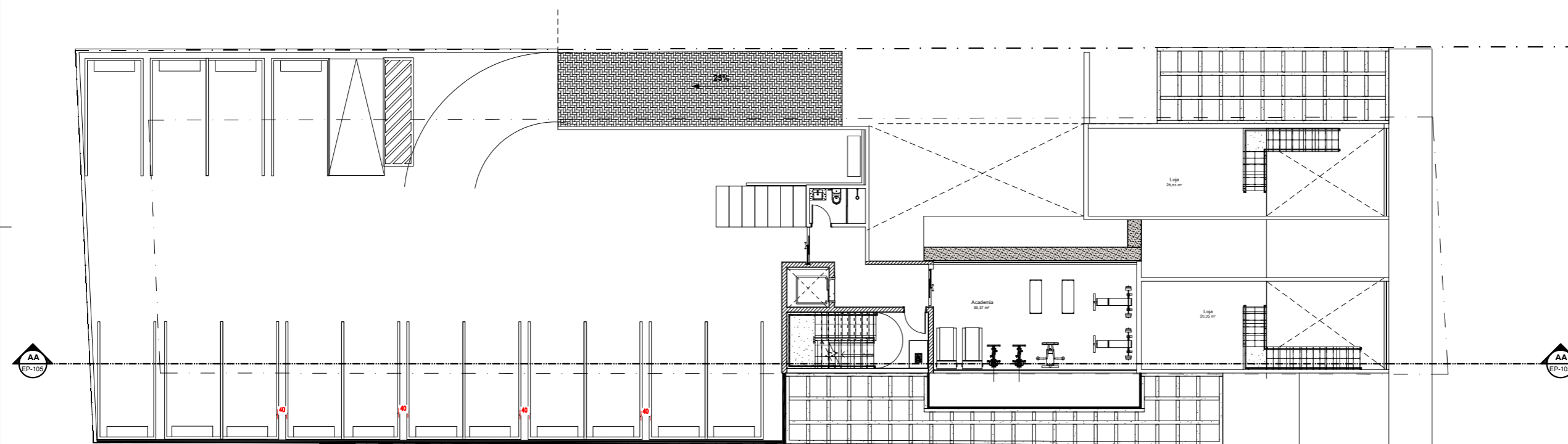
YOPANAN, C. P. R. Uma proposta de ensino da concepção estrutural. Vol. 2. Tese de Doutorado (Doutorado Estruturas Ambientais Urbanas) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ZILLI, E.; BORTOLOTTI, F. Estudo Comparativo entre uma Estrutura com Laje Convencional em Concreto Armado e uma Estrutura com Laje Plana Lisa Protendida: Estudo de caso de um edifício residencial multifamiliar na cidade de Pato Branco – PR. Universidade Tecnológica do Paraná, Pato Branco – PR, 2013.

# APÊNDICE A - ARQUITETURA PAVIMENTO PILOTIS E INTERMEDIÁRIO

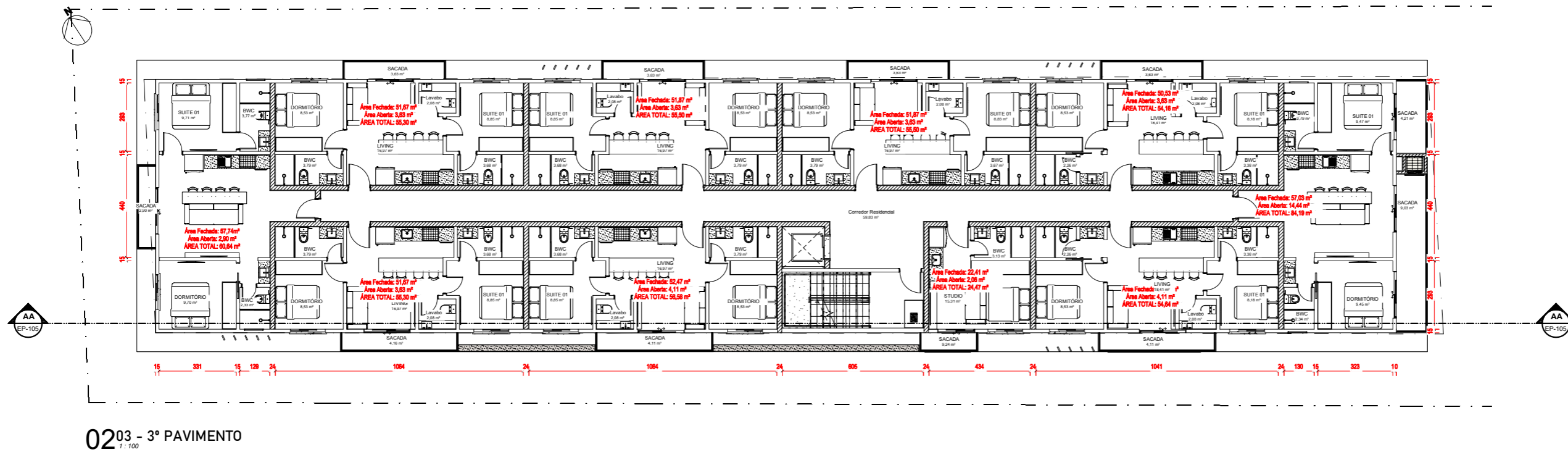
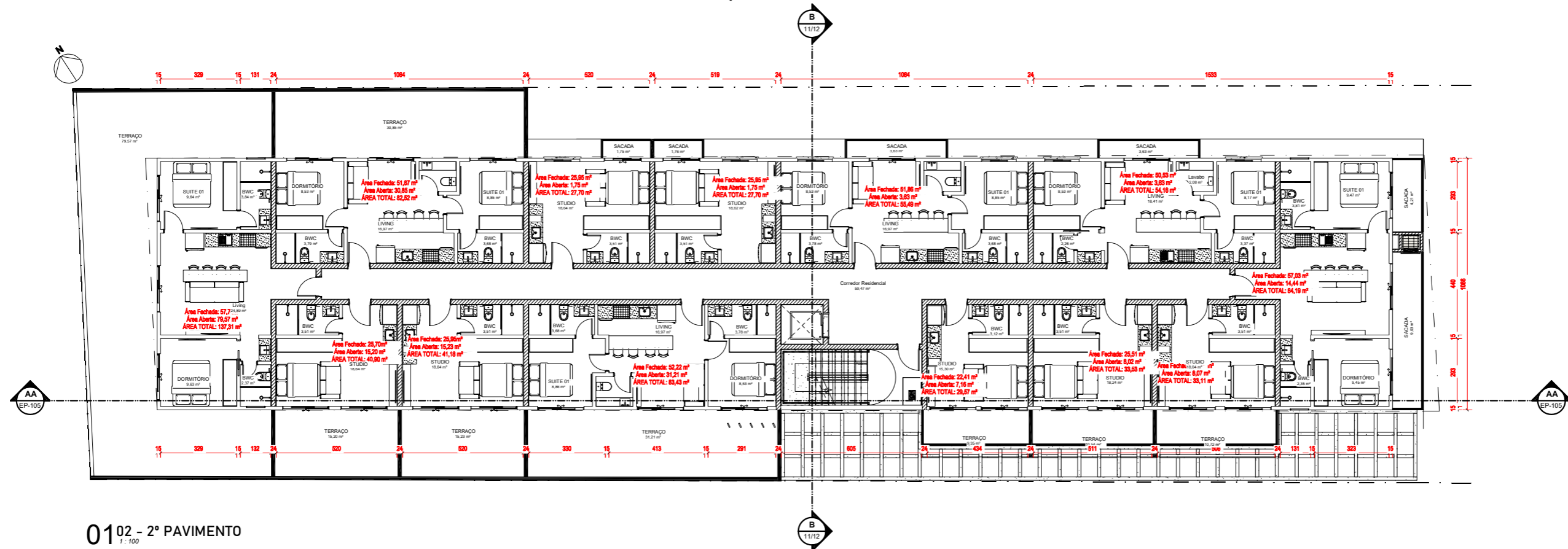


0200 - PILOTIS  
1:100

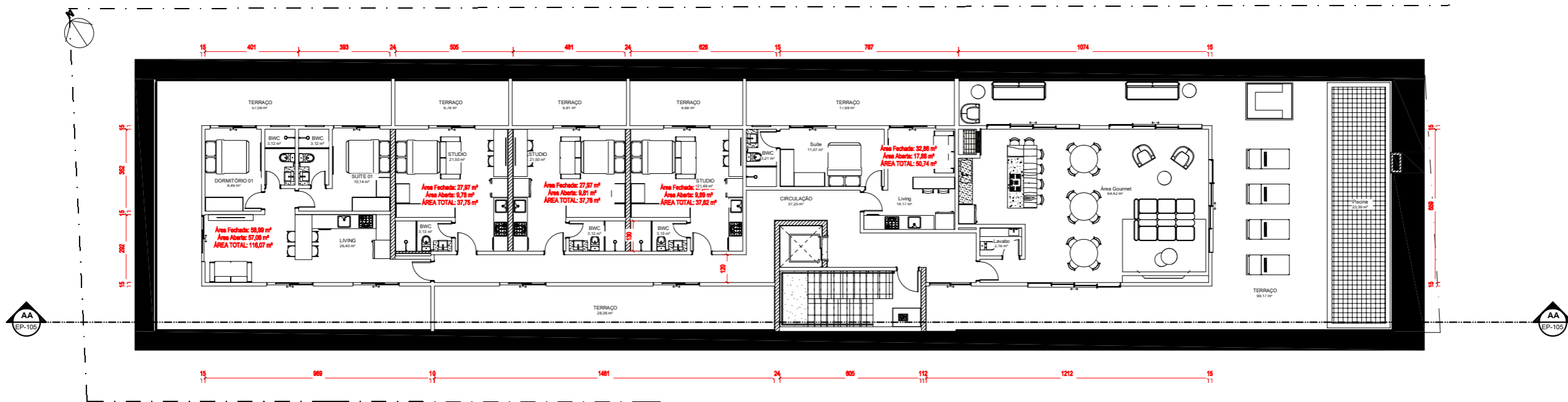


0101 - PAVTO INTERMEDIÁRIO  
1:100

# APÊNDICE B - ARQUITETURA 2º PAVIMENTO E TIPO



# APÊNDICE C - ARQUITETURA PAVIMENTO COBERTURA



0106 - PAVIMENTO COBERTURA

1:100

APENDICE D - Planta de carga concreto armado

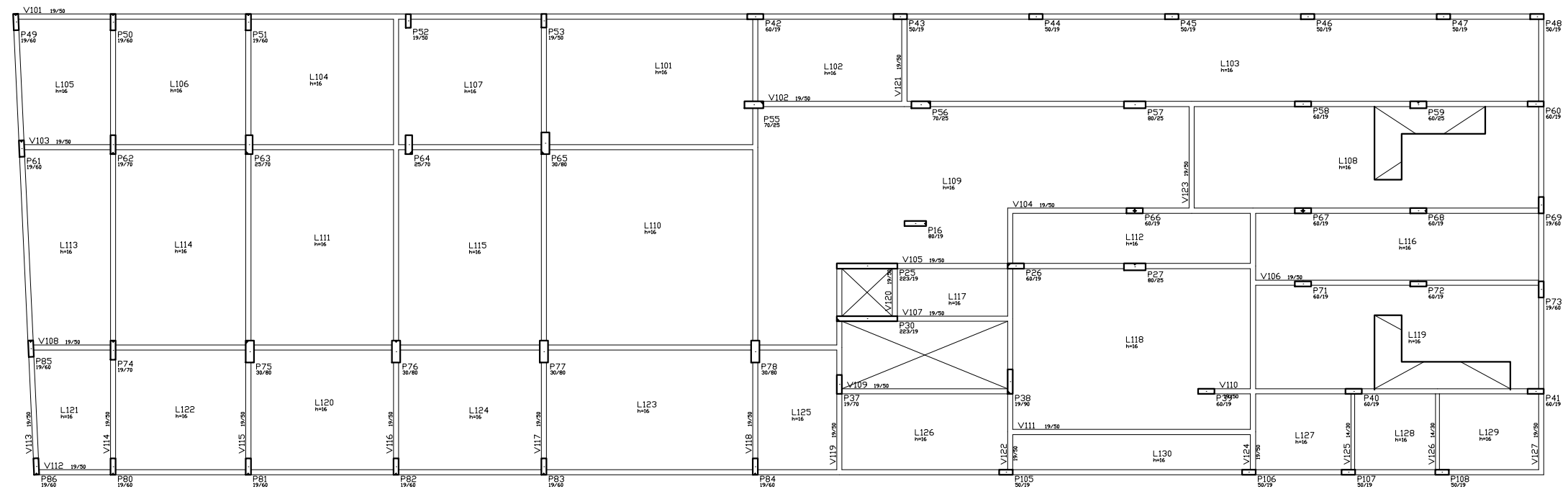
Elemento	Todas permanentes e acidentais dos pavimentos					Vento (1) 90°					Vento (2) 270°					Vento (3) 0°					Vento (4) 180°					FZ MAX-ELU2-Verificações de estado limite último - Pilares e					MX MAX-ELU2-Verificações de estado limite último - Pilares e					MY MAX-ELU2-Verificações de estado limite último - Pilares e								
	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx
P16	206,25	-0,27	-1,49	0,69	-0,52	3,31	0,1	0,64	-1,17	-0,35	-3,31	-0,1	-0,64	1,17	0,35	1,62	0,94	0,02	-0,01	2,22	-1,62	-0,94	-0,02	0,01	-2,22	216,13	-0,04	-1,21	-0,04	-1,03	203,67	-0,24	-1,86	1,85	-0,31	201,15	0,69	-1,33	0,61	1,82				
P25	170,85	0,38	-0,45	0,88	-13,11	25,69	0,46	2,82	-3,49	0,15	-25,69	-0,46	-2,82	3,49	-0,15	-2,22	2,15	0,02	-0,01	31,33	2,22	-2,15	-0,02	0,01	-31,33	258,8	0,99	2,44	-2,91	-19,1	200,96	0,09	-3,3	4,6	-18,86	164,28	2,49	-0,38	0,83	20,98				
P26	162,35	0,65	-1,59	0,75	-0,05	13,18	0,17	1,38	-1,36	0,12	-13,18	-0,17	-1,38	1,36	-0,12	-0,26	0,9	0,03	-0,02	1,19	0,26	-0,9	-0,03	0,02	-1,19	172,1	0,81	-0,11	-0,77	0,08	142,09	0,46	-2,84	2,15	-0,15	156,78	1,54	-1,43	0,67	1,2				
P27	253,06	-1,47	2,06	-0,99	-0,96	-3,47	0,16	1,36	-2,89	0,16	3,47	-0,16	-1,36	2,89	-0,16	1,45	1,07	0,02	-0,02	2,69	-1,45	-1,07	-0,02	0,02	-2,69	255,35	-1,56	1,33	0,88	-1,05	248,64	-1,55	0,71	2,18	-1,06	246,22	-0,32	1,95	-0,95	1,9				
P30	140,72	-0,26	-0,42	-0,64	-1,2	2,16	1,06	2,83	-3,61	12,91	-2,16	-1,06	-2,83	3,61	-12,91	2,76	2,29	0,02	-0,01	31,47	-2,76	-2,29	-0,02	0,01	-31,47	152,14	1,52	-0,42	-0,65	1,19	145,55	-0,92	-3,29	3,28	-32,95	141,88	2,06	-0,36	-0,63	22,1				
P37	95,8	-1,59	2,22	-0,81	-0,8	-28,42	0,14	4,7	-10,83	0,15	28,42	-0,14	-4,7	10,83	-0,15	-1,82	0,18	0	0,02	0,19	1,82	-0,18	0	-0,02	-0,19	125,63	-1,65	-2,69	11,03	-0,92	125,63	-1,65	-2,69	11,03	-0,92	91,59	-1,34	2,05	-0,72	-0,56				
P38	216,67	-0,09	2,38	-0,51	-0,09	-15,34	0,13	6,97	-23,12	0,16	15,34	-0,13	-6,97	23,12	-0,16	0,44	0,18	0,11	-0,12	0,22	-0,44	-0,18	-0,11	0,12	-0,22	227,65	-0,2	-4,6	24,93	-0,25	227,65	-0,2	-4,6	24,93	-0,25	210,82	0,1	2,34	-0,57	0,15				
P39	192,82	-1,4	-0,12	0,03	-0,74	-2,75	0,07	0,89	-1,21	0,68	2,75	-0,07	-0,89	1,21	-0,68	-1,43	0,57	0,02	-0,01	1,05	1,43	-0,57	-0,02	0,01	-1,05	194,77	-1,37	-0,6	0,81	-1,3	188,76	-1,34	-0,9	1,32	-1,57	183,69	-0,79	-0,08	0,01	0,38				
P40	176,54	1,1	-0,26	0,1	0,08	-0,23	0,42	1,03	-1,35	0,8	0,23	-0,42	-1,03	1,35	-0,8	0,64	0,7	0,02	-0,01	1,09	-0,64	-0,7	-0,02	0,01	-1,09	176,9	1,52	-0,25	0,09	0,76	165,42	0,57	-1,19	1,54	-0,94	171,52	1,75	-0,23	0,08	1,2				
P41	118,55	3,56	0,62	-0,34	0,88	-14,62	0,58	1,81	-1,81	0,85	14,62	-0,58	-1,81	1,81	-0,85	1,55	0,53	0,04	-0,02	1,02	-1,55	-0,53	-0,04	0,02	-1,02	132,52	2,7	-1,23	1,65	-0,14	132,52	2,7	-1,23	1,65	-0,14	117,34	3,87	0,64	-0,35	1,88				
P42	12,51	2,32	-0,42	0,19	0,65	2,52	-0,35	1	-1,05	-1,43	-2,52	0,35	-1	1,05	1,43	0,2	0,52	0	0	1,03	0,2	-0,52	0	0	-1,03	15,3	1,89	0,69	-0,96	-1,11	8,94	2,42	-1,44	1,3	2,19	8,94	2,42	-1,44	1,3	2,19				
P43	11,49	-0,36	0,35	-0,19	-0,25	0,84	-0,49	0,91	-0,97	-0,93	-0,84	0,49	-0,91	0,97	-0,93	0,07	0,49	-0,01	0	0,69	-0,07	-0,49	0,01	0	-0,69	12,12	-0,68	0,95	-0,83	-0,96	9,92	0,15	-0,63	0,88	0,79	9,92	0,15	-0,63	0,88	0,79				
P44	9,02	-0,06	0,71	-0,36	-0,17	0,16	-0,49	0,29	-0,73	-0,9	-0,16	0,49	-0,29	0,73	0,9	-0,01	0,52	0	0	0,7	0,01	-0,52	0	0	-0,7	9,18	-0,39	0,91	-0,85	-0,87	8,37	0,44	0,34	0,47	0,83	8,37	0,44	0,34	0,47	0,83				
P45	10,13	-0,48	0,75	-0,38	-0,38	0,19	-0,43	0,42	-0,84	-0,85	-0,19	0,43	-0,42	0,84	0,85	0,01	0,53	0,01	-0,01	0,7	-0,01	-0,53	-0,01	0,01	-0,7	10,3	-0,79	1,05	-0,96	-1,06	9,45	-0,02	0,22	0,58	0,6	9,45	-0,02	0,22	0,58	0,6				
P46	9,16	-0,24	0,76	-0,39	-0,31	0,18	-0,49	0,64	-1	-0,87	-0,18	0,49	-0,64	1	0,87	0,02	0,53	0	-0,01	0,69	-0,02	-0,53	0	0,01	-0,69	9,33	-0,61	1,22	-1,08	-1,01	8,49	0,3	-0,03	0,76	0,69	8,49	0,3	-0,03	0,76	0,69				
P47	8,82	0,07	0,88	-0,45	-0,2	0,76	-0,54	0,83	-1,14	-0,88	-0,76	0,54	-0,83	1,14	0,88	-0,28	0,58	0,01	-0,01	0,71	0,28	-0,58	-0,01	0,01	-0,71	9,46	-0,36	1,47	-1,23	-0,93	7,46	0,66	-0,12	0,85	0,83	7,46	0,66	-0,12	0,85	0,83				
P48	3,43	0,14	0,26	-0,15	-0,17	-0,22	-0,43	1,89	-1,69	-0,83	0,22	0,43	-1,89	1,69	0,83	0,5	0,47	0,02	-0,01	0,66	-0,5	-0,47	-0,02	0,01	-0,66	3,84	0,61	0,25	-0,15	0,53	3,64	0,6	-1,86	1,74	0,8	3,64	0,6	-1,86	1,74	0,8				
P49	15,33	-0,25	1,25	-0,89	-0,14	1,26	-0,25	0,94	-1,5	-0,31	-1,26	0,25	-0,94	1,5	0,31	-0,38	0,15	-0,04	0,07	0,16	0,38	-0,15	0,04	-0,07	-0,16	16,52	-0,42	1,78	-1,81	-0,36	13,68	0,04	0,24	0,53	0,2	13,68	0,04	0,24	0,53	0,2				
P50	31,92	-0,13	1,68	-1,01	-0,07	4,97	-0,27	1,49	-2,24	-0,27	-4,97	0,27	-1,49	2,24	0,27	0,02	0,17	-0,03	0,04	0,17	-0,02	-0,17	0,03	-0,04	-0,17	43,41	-0,42	3,29	-3,28	-0,39	25,37	0,18	0,05	1,27	0,25	25,37	0,18	0,05	1,27	0,25				
P51	45,5	-0,24	1,75	-0,98	-0,13	7,72	-0,24	2	-3,28	-0,26	-7,72	0,24	-2	3,28	0,26	-0,09	0,16	-0,03	0,03	0,16	0,09	-0,16	0,03	-0,03	-0,16	62,63	-0,49	3,97	-4,42	-0,42	35,08	0,03	-0,44	2,48	0,17	35,08	0,03	-0,44	2,48	0,17				
P52	65,06	0,33	0,24	-0,27	0,15	3,12	-0,22	1,11	-2,52	-0,22	-3,12	0,22	-1,11	2,52	0,22	-0,07	0,14	-0,02	0,02	0,14	0,07	-0,14	0,02	-0,02	-0,14	66,96	0,19	0,9	-1,87	0	59,05	0,54	-0,88	2,41	0,39	59,05	0,54	-0,88	2,41	0,39				
P53	25,29	-0,78	1,32	-0,69	-0,39	9,01	-0,2	2,43	-3,55	-0,21	-9,01	0,2	-2,43	3,55	0,21	-0,02	0,15	-0,01	0,02	0,14	0,02	-0,15	0,01	-0,02	-0,14	48,21	-0,96	3,7	-4,4	-0,61	28,1	-0,52	-1,35	3,18	-0,13	13,42	-0,5	-1,33	3,17	-0,12				
P55	315,53	-3,02	6,12	-2,84	-0,74	4,48	-0,27	2,24	-2,51	-1,76	-4,48	0,27	-2,24	2,51	1,76	-1,59	0,84	-0,01	0,01	1,94	1,59	-0,84	0,01	-0,01	-1,94	318,2	-3,14	7,45	-4,47	-1,95	297,5	-2,58	3,4	0,09	1,32	300,84	-1,96	5,61	-2,6	1,33				
P56	197,91	-3,44	0,13	-0,11	-0,91	3,49	-0,51	0,68	-2,03	-1,73	-3,49	0,51	-0,68	2,03	1,73	0,94	1	0	-0,01	1,95	-0,94	-1	0	0,01	-1,95	199,99	-3,74	0,41	-1,39	-2,1	187	-2,72	-0,38	2,05	1,11	191,86	-2,19	0,11	-0,1	1,17				
P57	207,13	0,9	-0,58	0,2	-1,01	6,86	-0,35	0,7	-2,6	-2,36	-6,86	0,35	-0,7	2,6	2,36	-0,75	1	0,03	-0,03	2,63	0,75	-1	-0,03	0,03	-2,63	211,77	0,72	-0,33	-1,45	-2,65	192,43	1	-0,99	2,94	1,77	199,53	1,69	-0,52	0,17	1,8				
P58	138,68	2,9	0	-0,02	0,64	3,17	-0,4	0,56	-1,1	-0,89	-3,17	0,4	-0,56	1,1	0,89	0,28	0,68	0,01	-0,01	1,07	0,28	-0,68	-0,01	0,01	-1,07	140,85	2,65	0,27	-0,73	0,02	130,32	3,22	-0,47	1,15	1,64	134,22	3,48	0,01	-0,03	1,73				
P59	134,63	-1,07	-0,75	0,28	-0,74	10,4	-0,51	0,65	-2,3	-1,15	-10,4	0,51	-0,65	2,3	1,15	-1,26	0,75	0,03	-0,02	1,3	1,26	-0,75	-0,03	0,02	-1,3	143,19	-1,57	-0,18	-2,22	-2,03	119,07	-0,48	-1,21	2,74	0,62	129,76	-0,27	-0,67	0,24	0,65				
P60	90,79	2,78	0,19	-0,13	0,54	15,87	-0,3	1,92	-1,86	-0,86	-15,87	0,3	-1,92	1,86	0,86	2,1	0,54	0,02	-0,01	1,01	-2,1	-0,54	-0,02	0,01	-1,01	106,84	2,27	2,16	-2,15	-0,5	70,19	2,93	-1,83	1,91	1,5	90,74	3,14	0,2	-0,13	1,55				
P61	33,9	-0,38	1,71	-1,06	-0,2	-0,11	-0,14	1,12	-1,57	-0,17	0,11	0,14	-1,12	1,57	0,17	-0,28	0,16	-0,05	0,08	0,16	0,28	-0,16	0,05	-0,08	-0,16	34,26	-0,5	1,72	-1,21	-0,34	32,29	-0,2	0,51	0,45	-0,01	32,29	-0,2	0,51	0,45	-0,01				
P62	186,72	-0,42	3,56	-1,58	-0,22	4,84	-0,13	1,83	-3,23	-0,14	-4,84	0,13	-1,83	3,23	0,14	-0,6	0,2	-0,03	0,05	0,2	0,6	-0,2	0,03	-0,05	-0,2	189,79	-0,5	4,63	-3,47	-0,31	173,51	-0,25	1,46	1,7	-0,04	178,37	-0,2	3,23	-1,4	0				
P63	324,89	-0,74	4,11	-1,5	-0,37	8,38	-0,21	2,86	-5,94	-0,27	-8,38	0,21	-2,86	5,94	0,27	-1,21	0,34	-0,04	0,06	0,38	1,21	-0,34	0,04	-0,06	-0,38	331,09	-0,86	6,13	-5,36	-0,59	303,67	-0,46	0,91	4,74	-0,03	311,73	-0,35	3,73	-1,33	0,05				
P64	234,46	2,82	1,24	-0,89	1,25	1,68	-0,19	2,7	-7,98	-0,26	-1,68	0,19	-2,7	7,98	0,26	-0,21	0,36	-0,03	0,05	0,39	0,21	-0,36	0,03	-0,05	-0,39	235,3	2,71	2,86	-5,99	1,08	223,04</													

APENDICE E - Planta de carga concreto protendido

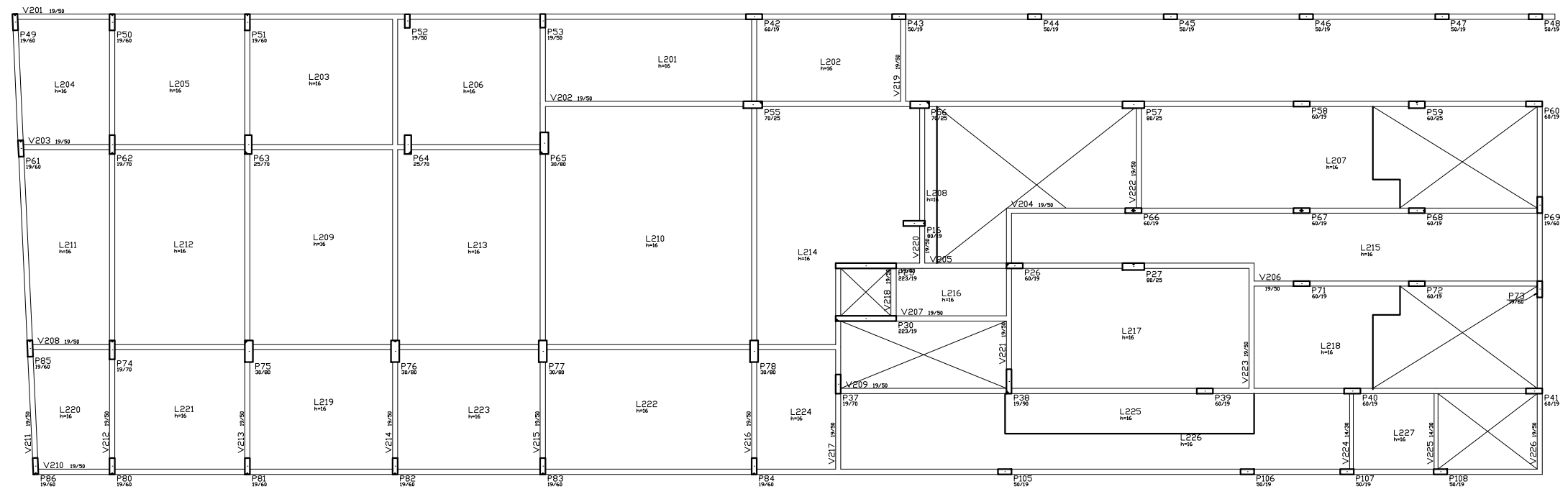
Elemento	Todas permanentes e acidentais dos pavimentos					Vento (1) 90°					Vento (2) 270°					Vento (3) 0°					Vento (4) 180°					FZ MAX-ELU2-Verificações de estado limite último - Pilares e fundações					MAX-ELU2-Verificações de estado limite último - Pilares e fundações					MAX-ELU2-Verificações de estado limite último - Pilares e fundações						
	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Mz	Fz	Fx	Fy	Mx	My	Fz	Fx	Fy	Mx	My	
P1	83,58	-0,05	0,14	-0,7	-0,16	18,05	-0,58	1,23	-1,85	-0,28	-18,05	0,58	-1,23	1,85	0,28	-0,67	0,35	-0,03	0,04	0,22	0,67	-0,35	0,03	-0,04	-0,22	105,16	-0,7	1,23	-2,12	-0,51	-0,12	61,71	0,61	-0,96	0,79	0,22	61,88	0,61	-0,96	0,78	0,22	
P6	224,92	-0,7	0,39	-2	-12,08	6,98	-0,07	1,91	-5,7	-1,87	-6,98	0,07	-1,91	5,7	1,87	2,14	0,72	0,04	0,04	1,61	-2,14	-0,72	-0,04	-0,04	-1,61	229,75	-0,73	1,49	-6,03	-13,42	-0,05	211,76	-0,61	-1,46	4,81	-8,96	197,64	-0,45	0,31	-1,38	-7,51	
P7	467,36	-0,04	0,21	13,9	-1,73	1,52	-0,47	2,29	-17,22	-0,66	-1,52	0,47	-2,29	17,22	0,66	0,07	0,43	-0,03	0,14	0,68	-0,07	-0,43	0,03	-0,14	-0,68	469,26	-0,37	1,57	3,34	-2,22	-0,1	451,8	0,5	-2,09	30,44	-0,72	452,01	0,5	-2,09	30,43	-0,72	
P8	644,69	0,04	0,63	17,15	-0,03	2,37	-0,33	4,65	-59,92	-0,91	-2,37	0,33	-4,65	59,92	0,91	0,63	0,65	-0,03	-0,03	0,78	-0,63	-0,65	0,03	0,03	-0,78	645,96	-0,18	3,63	-25	-0,71	-0,05	622,34	0,42	-4,43	85,73	1,07	622,34	0,42	-4,43	85,73	1,07	
P9	179,63	-0,06	0,19	1,77	-2	-10,81	-0,25	1,28	-2,78	-0,16	10,81	0,25	-1,28	2,78	0,16	-0,62	0,37	-0,03	0,06	0,25	0,62	-0,37	0,03	-0,06	-0,25	185,7	0,12	-0,49	3,04	-1,87	0,08	183,8	0,24	-0,97	3,75	-1,6	146,49	-0,03	0,1	0,97	-1,09	
P10	144,97	-0,24	0,19	-1,24	-2,98	3,09	0,01	1,81	-5,75	-1,96	-3,09	-0,01	-1,81	5,75	1,96	1,24	0,75	0,04	-0,01	2,34	-1,24	-0,75	-0,04	0,01	-2,34	152,07	-0,23	1,2	-5,4	-4,59	-0,05	137,74	-0,27	-1,5	5,72	-0,15	142,6	-0,27	-1,49	5,68	-0,12	
P13	446,68	0,15	-2,07	2,66	4,34	28,22	0	-1,35	0,37	-0,19	-28,22	0	1,35	-0,37	0,19	-4,22	-1,59	0	0,01	23,4	4,22	1,59	0	-0,01	-23,4	466,5	0,15	-3,59	2,95	3,67	0,96	452,3	0,19	-3,17	2,99	3,89	415,45	-1,74	-1,94	2,47	29,97	
P14	407,91	0,14	0,25	-4,29	5,4	23,07	0,09	3,36	-9,04	-0,1	-23,07	-0,09	-3,36	9,04	0,1	4,8	1,19	0,12	0,03	7,42	-4,8	-1,19	-0,12	-0,03	-7,42	424,51	0,21	2,32	-10,74	5,36	0,08	368,03	0,04	-3,25	6,78	5,22	399,45	1,37	0,35	-3,92	13,22	
P16	128,25	-0,23	-0,06	0,64	-2,18	-2,63	0,11	1,76	-5,62	0,67	2,63	-0,11	-1,76	5,62	-0,67	1,79	0,79	0,03	0,04	2,34	-1,79	-0,79	-0,03	-0,04	-2,34	134,93	-0,33	-1,01	4,69	-2,74	0,04	128,44	-0,37	-1,66	7,3	-2,89	131,98	0,58	-0,02	0,59	0,5	
P17	128,04	-0,86	-1,89	-0,94	8,3	4,22	-0,85	-1,35	0,32	9,62	-4,22	0,85	1,35	-0,32	-9,62	1,63	-1,47	0	0	23,18	-1,63	1,47	0	0	-23,18	161,6	-1,93	-3,49	-0,39	19,91	0,95	161,3	-1,93	-3,49	-0,39	19,91	157,63	-2,55	-1,77	-0,86	33,39	
P18	460,67	0	-0,09	-16,86	-0,96	-1,71	0,45	2,28	-17,19	0,44	1,71	-0,45	-2,28	17,19	-0,44	-0,7	0,43	-0,02	0,15	0,69	0,7	-0,43	0,02	-0,15	-0,69	463,37	-0,31	-1,44	-6,44	-1,27	0,09	449,17	-0,51	-2,32	1,92	-1,39	444,5	0,41	-0,09	-15,49	-0,15	
P19	615,6	0,08	-0,29	-19,73	-2,07	-1,51	0,3	4,73	-60,45	0,54	1,51	-0,3	-4,73	60,45	-0,54	0,56	0,62	0	0,01	0,8	-0,56	-0,62	0	-0,01	-0,8	619,7	-0,13	-3,35	22,55	-2,44	0,07	598,44	-0,27	-5,34	52,61	-0,06	-2,51	523,27	0,06	-0,13	-11,03	-1,03
P20	268,92	0,37	-0,18	-13,94	-3,86	2,64	0,16	4,73	-26,43	0,41	-2,64	-0,16	-4,73	26,43	-0,41	-1,18	0,85	-0,06	-0,06	0,58	1,18	-0,85	0,06	0,06	-0,58	272,09	0,48	2,91	-33,1	-3,57	-0,01	255,81	0,17	-5,29	19	-3,99	213,57	0,23	-0,07	-7,71	-1,98	
P21	153,74	-0,01	-0,15	-3,8	0,62	-7,12	0,55	1,23	-1,83	0,19	7,12	-0,55	-1,23	1,83	-0,19	-0,83	0,36	-0,02	0,03	0,23	0,83	-0,36	0,02	-0,03	-0,23	159,31	-0,4	-0,8	-2,95	0,46	0,07	127,67	0	-0,08	-2,02	0,34	140,36	0,62	0,95	-4,87	0,81	
P23	140,65	0,2	-0,02	10,88	3,85	-34,49	0,19	4,87	-23,4	0,24	34,49	-0,19	-4,87	23,4	-0,24	-2,6	0,75	-0,2	0,13	0,24	2,6	-0,75	0,2	-0,13	-0,24	179,77	-0,04	-5,33	38,65	3,35	0,08	179,77	-0,04	-5,33	38,65	3,35	105,56	0,33	3,2	-6,47	4,01	
P24	251,79	0,1	-0,06	5,45	2,24	-31,13	-0,01	4,04	-40,36	0,27	31,13	0,01	-4,04	40,36	-0,27	0,89	0,8	0,13	-0,01	0,29	-0,89	-0,8	-0,13	0,01	-0,29	284,62	0,11	-4,35	53,95	1,77	-0,4	284,62	0,11	-4,35	53,95	1,77	228,6	0,1	2,52	-24,02	2,44	
P25	287,84	0,06	0	-7,76	-1,47	-7,22	0,02	2,17	-2,26	4,68	7,22	-0,02	-2,17	2,26	-4,68	-1,86	0,9	0,02	0	4,64	1,86	-0,9	-0,02	0	-4,64	294,07	0,06	-1,25	-6,31	-4,72	-0,07	289,06	0,05	-2,1	-4,9	-6,78	271,16	0,07	2,08	-9,73	4,17	
P26	230,46	-0,08	-0,01	-3,88	-2,38	-4,4	0,11	1,73	-2,38	2,33	4,4	-0,11	-1,73	2,38	-2,33	0,29	0,85	0	0	2,42	-0,29	-0,85	0	0	-2,42	233,56	-0,16	-0,97	-2,28	-4,05	0	229,23	-0,19	-1,62	-0,96	-5,07	218,51	0,05	1,58	-6,29	0,45	
P27	215,07	-0,54	-0,22	3,27	-8,55	-8,26	0,23	1,75	-3,48	4,15	8,26	-0,23	-1,75	3,48	-4,15	3,43	0,86	0,02	0,02	4,29	-3,43	-0,86	-0,02	-0,02	-4,29	220,97	-0,71	-1,17	5,66	-11,54	0,05	216,63	-0,77	-1,8	7,11	-12,76	196,63	-0,24	1,38	-0,85	-2,8	
P28	20,66	0,27	0,18	5,65	-12,48	0,16	-0,09	3,53	-0,87	-3,15	-0,16	0,09	-3,53	0,87	3,15	-0,07	0,82	-0,08	0	1,53	0,07	-0,82	0,08	0	-1,53	20,78	0,2	2,43	5,1	-15,01	-0,03	20,53	0,35	-2,07	6,2	-9,95	19,29	0,38	-3,58	6,06	-7,33	
P29	10,61	0,31	0,26	2	3,29	-0,06	0,08	3,07	-1,23	-1,96	0,06	-0,08	-3,07	1,23	1,96	0,03	0,83	0	0	0,94	-0,03	-0,83	0	0	-0,94	10,66	0,26	-1,66	2,74	4,85	-0,01	10,25	0,21	-2,96	3,06	5,59	10,25	0,21	-2,96	3,06	5,59	
P30	10,16	0,32	0,2	0,71	-1,03	0	0,2	2,57	-1,02	-1,87	0	-0,2	-2,57	1,02	1,87	0	0,86	0,07	0	0,89	0	-0,86	-0,07	0	-0,89	10,16	0,44	1,76	0,1	-2,52	0	9,72	0,09	-2,41	1,67	1,54	9,72	0,09	-2,42	1,67	1,54	
P31	16,87	0,19	0,18	3,05	1,4	0	0,19	2,07	-1,14	-1,84	0	-0,19	-2,07	1,14	1,84	0	0,84	0,06	0	0,88	0	-0,84	-0,06	0	-0,88	16,87	-0,33	0,14	3,05	0,82	0,01	16,13	-0,02	-1,86	4	3,77	16,13	-0,02	-1,86	4	3,77	
P32	10,1	0,01	0,2	0,86	0,5	-0,03	0,06	1,68	-0,89	-1,83	0,03	-0,06	-1,68	0,89	1,83	0,01	0,79	0,04	0	0,87	-0,01	-0,79	-0,04	0	-0,87	10,12	-0,02	-0,73	1,4	1,94	0,03	9,73	-0,04	-1,37	1,69	2,84	9,72	-0,04	-1,38	1,69	2,84	
P33	14,93	-0,17	0,21	3,72	-1,47	0,3	-0,17	1,58	-1,21	-1,94	-0,3	0,17	-1,58	1,21	1,94	-0,15	0,73	0,03	0,02	0,93	0,15	-0,73	-0,03	-0,02	-0,93	15,17	-0,31	1,1	2,86	-3	-0,03	13,76	0,07	-1,29	4,86	1,15	13,75	0,07	-1,28	4,86	1,16	
P34	-0,62	-0,14	0,14	0,61	-0,92	1,59	-0,29	1,84	-2,46	-1,82	-1,59	0,29	-1,84	2,46	1,82	0,24	0,68	0,05	0,02	0,85	-0,24	-0,68	-0,05	-0,02	-0,85	1,51	-0,52	1,98	-2,53	-3,24	-0,02	-2,6	0,26	-1,71	3,62	1,51	-2,6	0,26	-1,71	3,62	1,51	
P35	21,73	-0,03	0,26	3,96	0,9	1,28	-0,87	0,67	-0,44	-0,39	-1,28	0,87	-0,67	0,44	0,39	-0,34	0,3	-0,06	0,09	0,2	0,34	-0,3	0,06	-0,09	-0,2	22,47	-0,62	0,54	4,13	0,6	-0,02	22,46	-0,62	0,54	4,14	0,61	19,82	0,97	-0,22	3,46	1,34	
P36	32,17	-0,04	0,17	1,06	0,37	1,94	-0,96	1,16	-1,37	-0,43	-1,94	0,96	-1,16	1,37	0,43	0,14	0,33	-0,03	0,04	0,23	-0,14	-0,33	0,03	-0,04	-0,23	33,44	-0,7	0,78	0,47	0,02	-0,07	29,23	1,06	-0,87	1,87	0,92	29,23	1,06	-0,87	1,87	0,92	
P37	40,77	-0,06	0,23	1,3	0,75	2,8	-1,02	2,06	-2,83	-0,42	-2,8	1,02	-2,06	2,83	0,42	0,03	0,39	-0,03	0,03	0,22	-0,03	-0,39	0,03	-0,03	-0,22	43,06	-0,76	1,46	-0,46	0,41	-0,09	36,2	1,11	-1,84	3,99	1,27	36,2	1,12	-1,84	3,99	1,27	
P38	23,36	0	0,36	-0,64	-1,25	3,51	-0,93	2,96	-2,69	-0,36	-3,51	0,93	-2,96	2,69	0,36	-0,06	0,48	-0,02	0,02	0,17	0,06	-0,48	0,02	-0,02	-0,17	27,16	-1,07	3,45	-3,69	-1,62	-0,15	18,6	1,08	-2,79	2,4	-0,7	18,6	1,08	-2,79	2,4	-0,7	
P39	29,97	0,14	0,4	0,53	3,72	4,03	-0,6	3,77	-3,03	-0,34	-4,03	0,6	-3,77	3,03	0,34	0,06	0,6	-0,03	0	0,16	-0,06	-0,6	0,03	0	-0,16	34,11	-0,56	4,39	-3,08	3,02	-0,04	24,49	0,82	-3,68	4	3,9	27,07	0,56	-2,03	2,66	3,99	
P40	219,67	0,06	0																																							

# APÊNDICE F - Forma pilotis e pavimento intermediário - CA

Planta 01 - 1 PAVIMENTO - PILOTIS

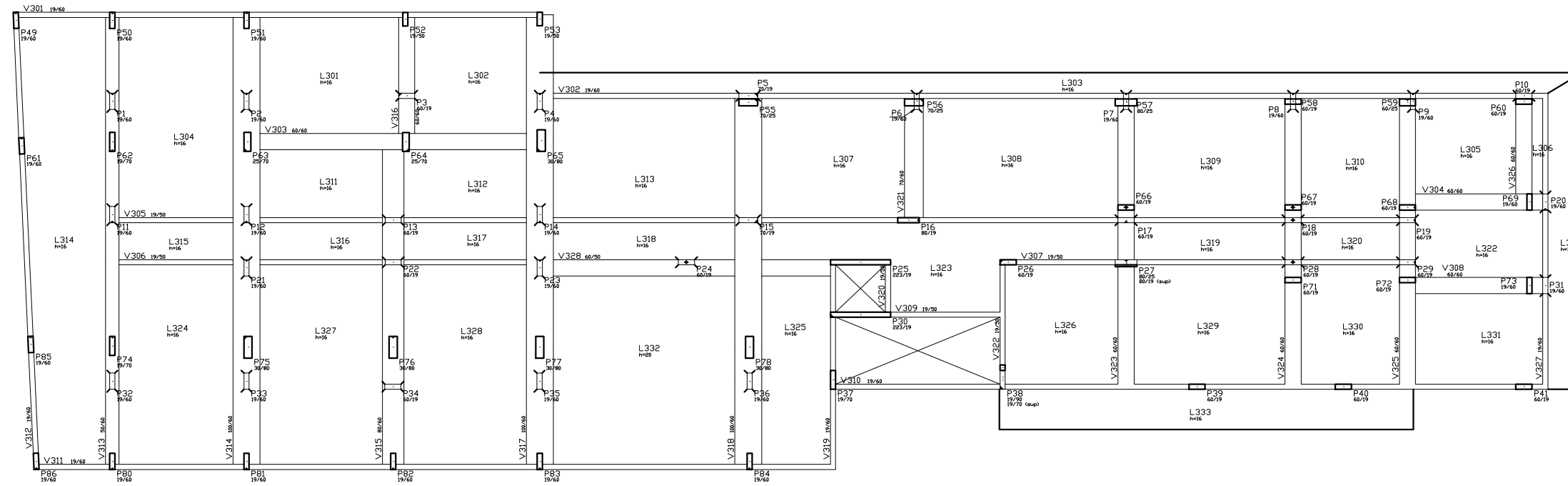


Planta 02 - PAVIMENTO INTERMEDIÁRIO

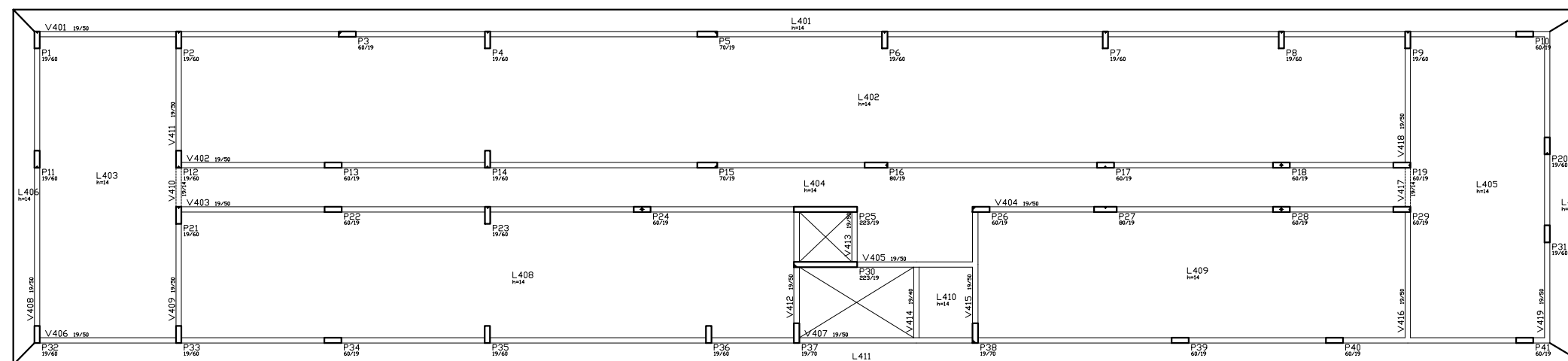


# APÊNDICE G - Forma 2 pavimento e pavimento tipo - CA

Planta 03 - 2 PAVIMENTO

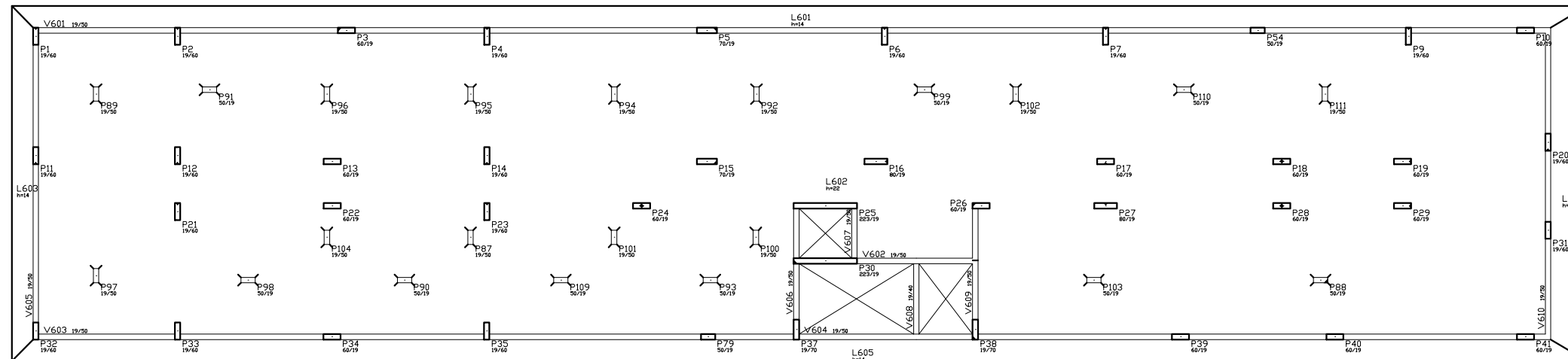


Planta 04 - PAVIMENTO TIPO

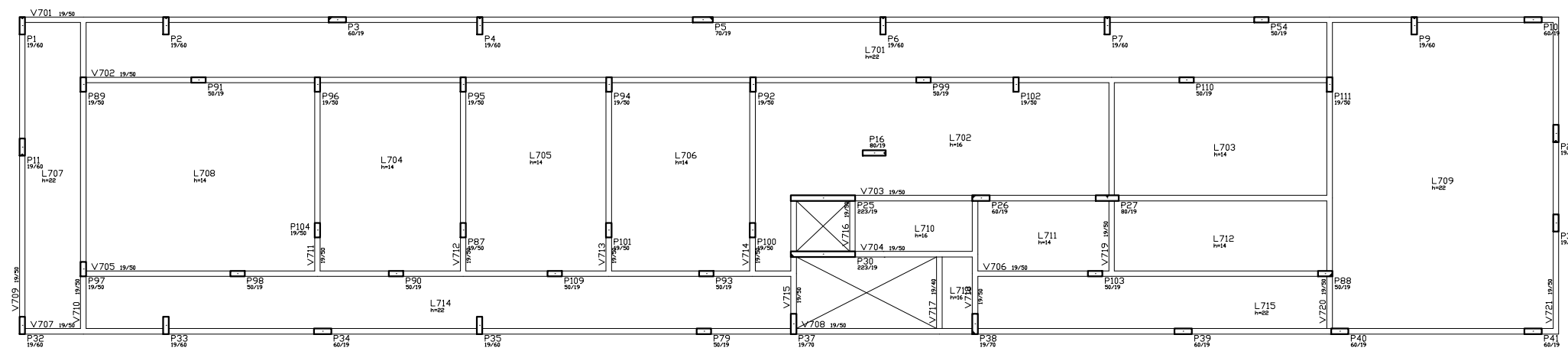


# APÊNDICE H - Forma laje técnica e pavimento cobertura - CA

Planta 05 - LAJE TÉCNICA

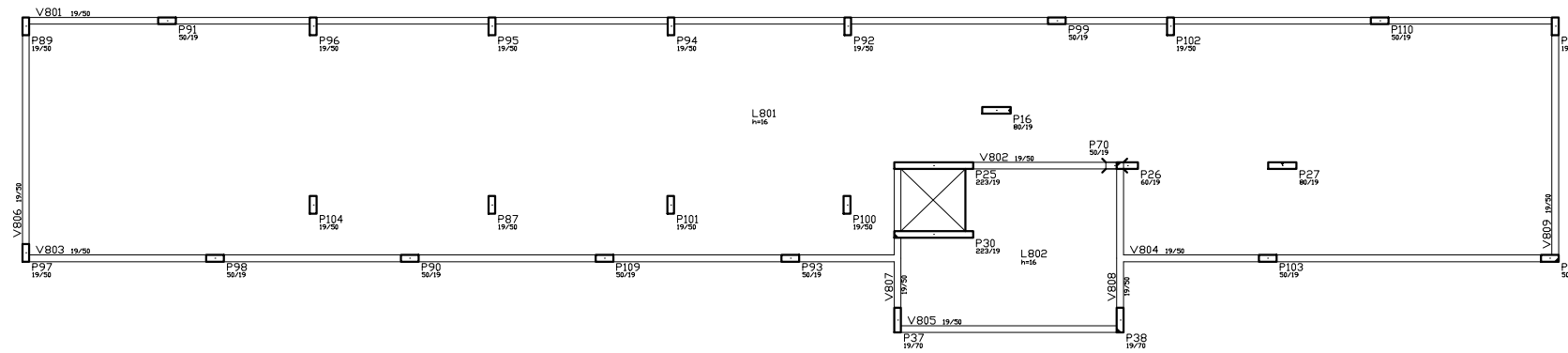


Planta 06 - PAVIMENTO COBERTURA

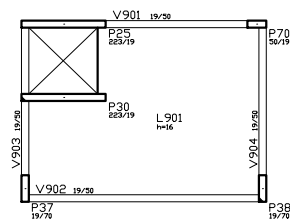


# APÊNDICE I - Forma barrilete e reservatório - CA

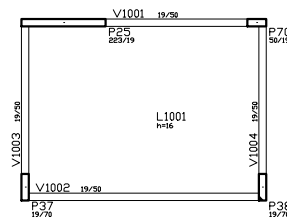
Planta 07 - BARRILETE



Planta 08 - RESERVATÓRIO

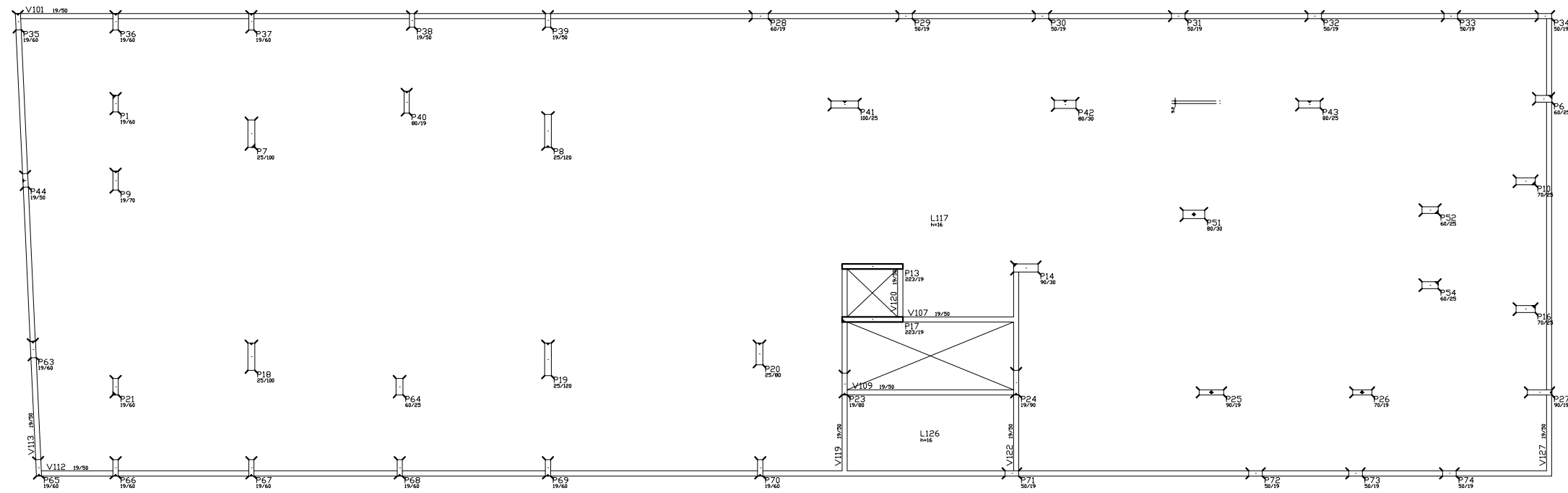


Planta 09 TAMPA-RESERVATÓRIO

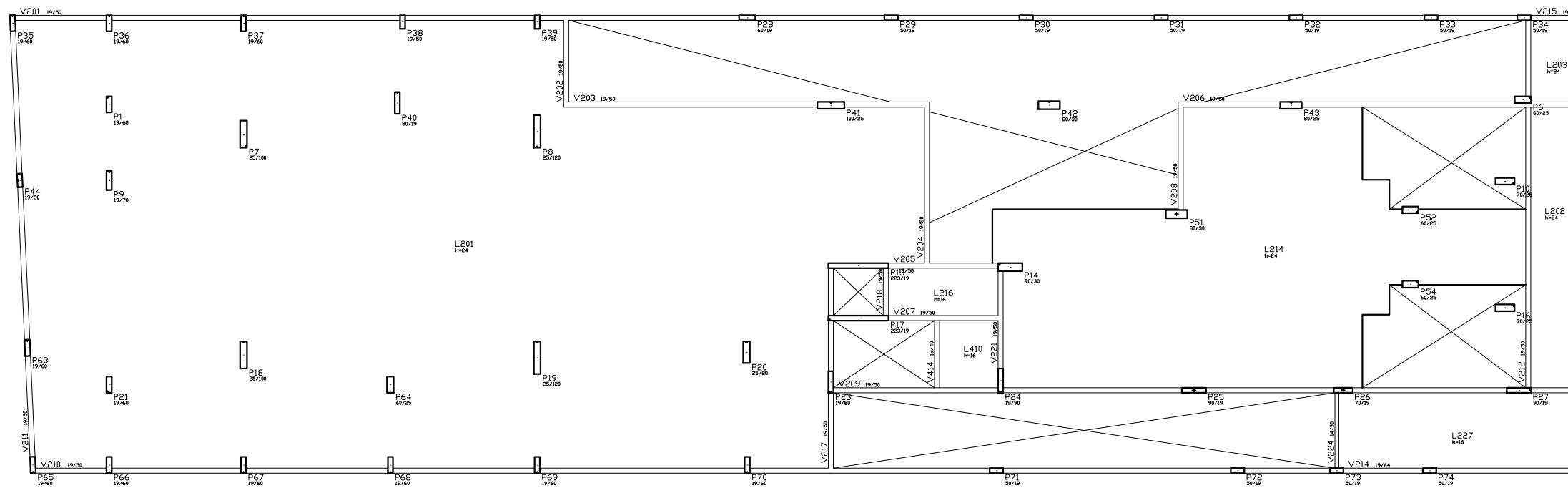


# APÊNDICE J - Forma pilotis e pavimento intermediário - CP

Planta 01 - 1 PAVIMENTO - PILOTIS

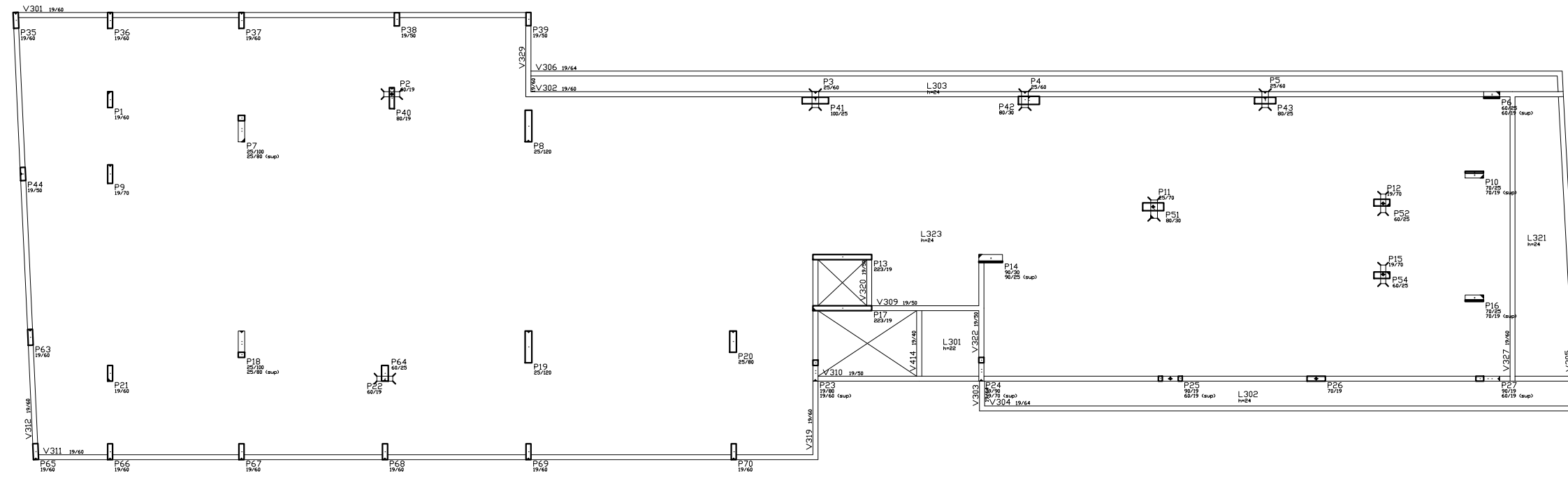


Planta 02 - PISO INTERMEDIÁRIO

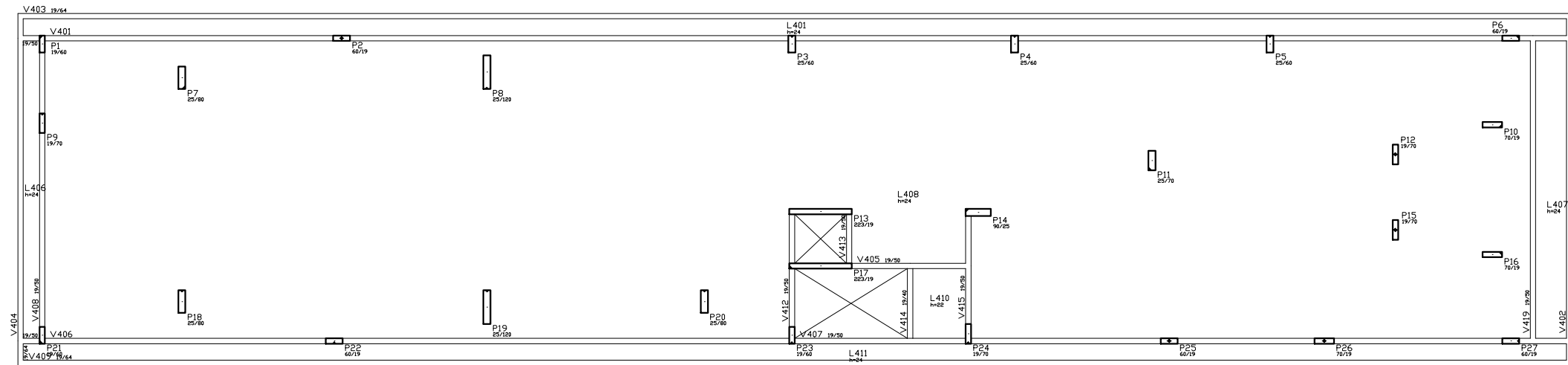


# APÊNDICE K - Forma 2º pavimento e pavimento tipo - CP

Planta 03 - 2 PAVIMENTO

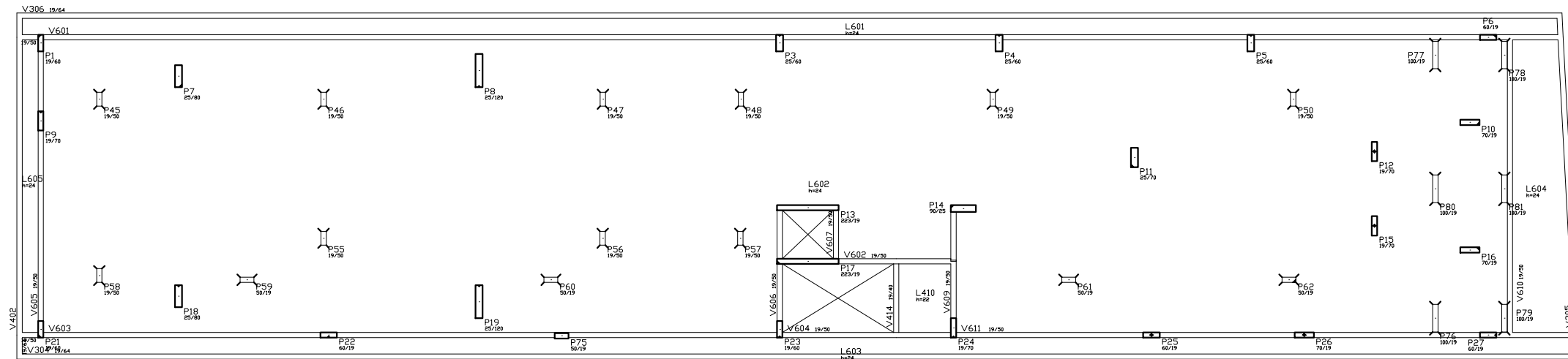


Planta 04 - PAVIMENTO TIPO

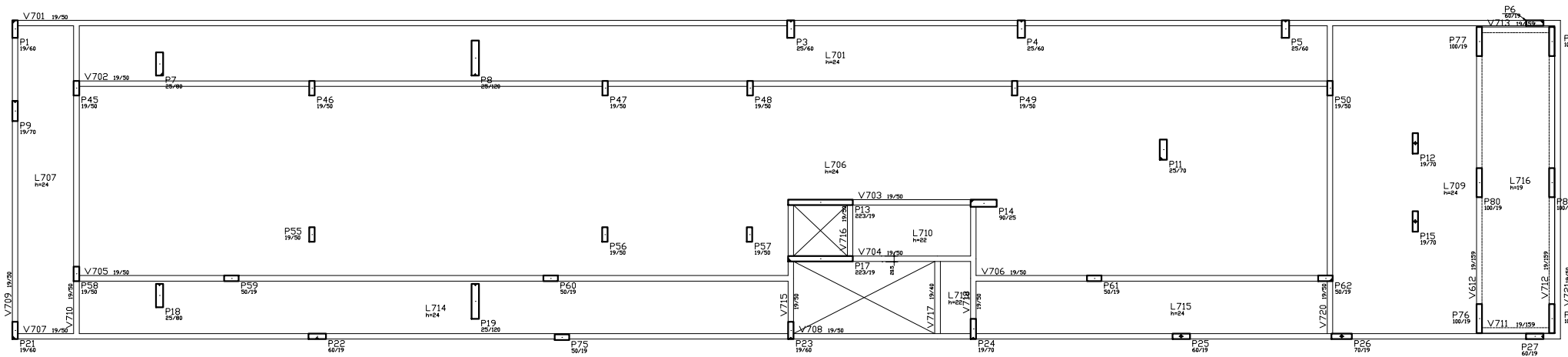


# APÊNDICE L - Forma laje técnica e pavimento cobertura - CP

Planta 05 - LAJE TÉCNICA

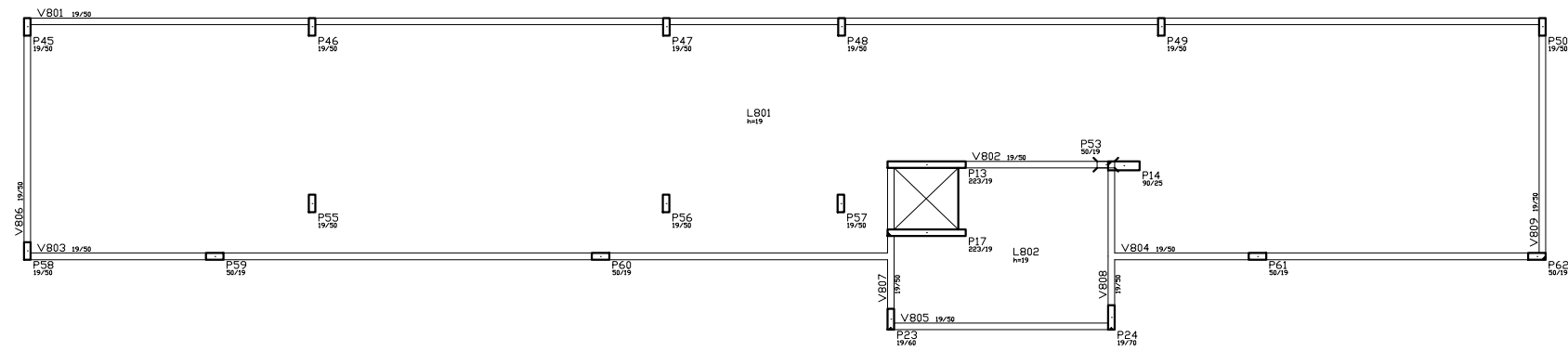


Planta 06 - PAVIMENTO COBERTURA

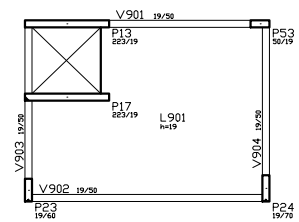


# APÊNDICE M - Forma barrilete, reservatório e tampa reservatório - CP

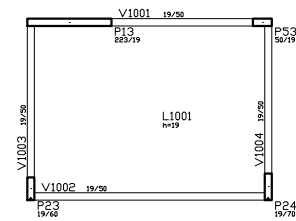
Planta 7 - BARRILETE



Planta 8 - RESERVATÓRIO

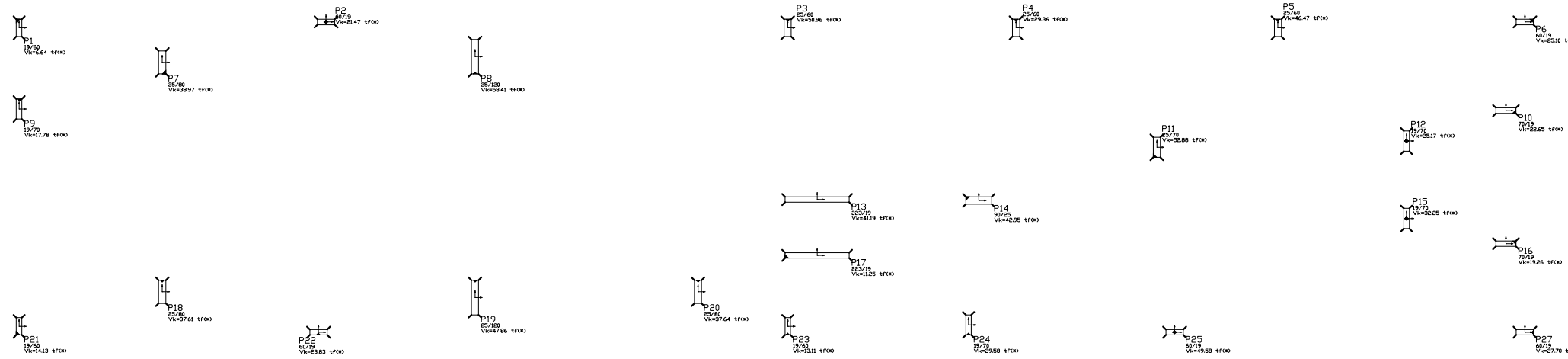


Planta 9 - TAMPA-RES



# APÊNDICE N - Cargas nos pilares do pav. tipo para cálculo da punção e colapso progressivo

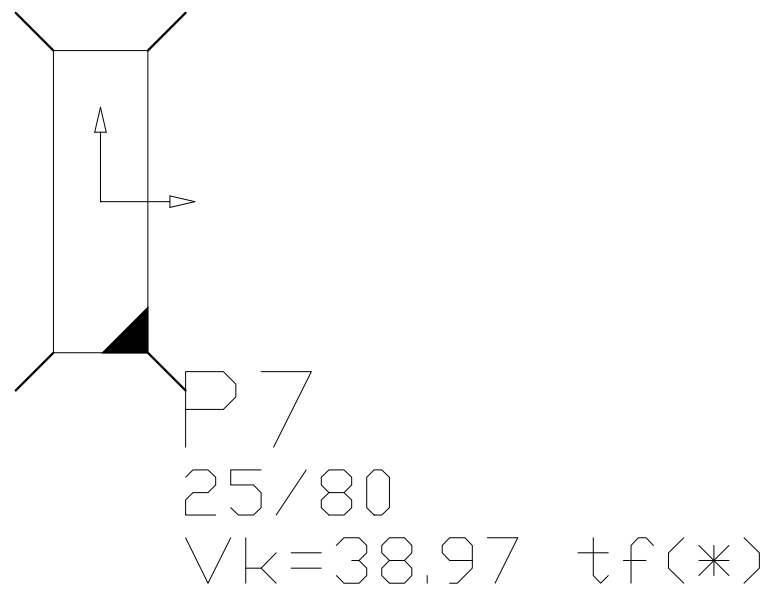
Cargas nos pilares do pavimento tipo



Elem	Fz	Vh	Vh
P1	6.64	0.64	0.12
P2	21.47	0.96	1.20
P3	50.96	2.43	2.12
P4	29.36	0.29	-0.25
P5	46.47	0.90	-0.06
P6	25.10	0.17	2.58
P7	38.97	8.54	-0.95
P8	58.41	8.53	-1.11
P9	17.78	3.65	-0.17
P10	22.65	0.23	-2.63
P11	52.88	0.43	-1.49
P12	25.17	4.54	1.05
P13	41.19	1.26	1.34
P14	42.95	1.23	0.24
P15	32.25	-0.89	1.31
P16	19.26	0.19	-2.22
P17	11.25	-0.06	-0.07
P18	37.61	3.41	-1.05
P19	47.86	4.02	0.05
P20	37.64	5.53	1.74
P21	14.13	1.32	-0.15
P22	23.83	0.83	-0.49
P23	13.11	-0.92	-0.29
P24	29.58	0.84	0.34
P25	49.58	0.59	-6.14
P27	27.70	0.17	6.31

Observações:  
 1 - Os valores apresentados referem-se às reações nos apoios  
 2 - Esforços com valores característicos  
 3 - Forças em tf  
 4 - Momentos em tfm  
 5 - Sistema de coordenadas GLOBAL  
 6 - A força X positiva empurra o apoio da esquerda para a direita  
 7 - O momento X positivo gira o apoio em torno do eixo X no sentido horário  
 8 - A força Y positiva empurra em planta o apoio de baixo para cima  
 9 - O momento Y positivo gira o apoio em torno do eixo Y no sentido horário  
 10 - A força Z positiva empurra o apoio de cima para baixo  
 11 - O momento Z positivo gira o apoio em torno do eixo Z no sentido horário  
 \* - Força normal relativa ao caso 'Todas permanentes e acidentais dos pavimentos', demais casos na tabela  
 12 - CA é a cota de arrasamento/assentamento da fundação  
 13 - O peso próprio das fundações não está incluído no modelo

Cargas e dimensão do P7



Elem	Todas permanentes e acidentais dos pavimentos		
	Fz tf	Mx tfm	My tfm
P1	6.64	-0.90	-0.12
P2	21.47	-0.96	1.20
P3	50.96	-2.43	2.12
P4	29.36	0.29	-0.25
P5	46.47	-0.90	-0.06
P6	25.10	0.17	2.58
P7	38.97	-8.54	-0.95
P8	58.41	-8.53	-1.11
P9	17.78	-3.65	-0.17
P10	22.65	0.23	-2.63
P11	52.88	-0.43	-1.49
P12	25.17	4.54	1.05
P13	41.19	1.26	1.34
P14	42.95	1.23	0.24
P15	32.25	-0.89	1.31
P16	19.26	0.19	-2.22
P17	11.25	-0.06	-0.07
P18	37.61	3.41	-1.05
P19	47.86	4.02	0.05
P20	37.64	5.53	1.74
P21	14.13	1.32	-0.15
P22	23.83	0.83	-0.49
P23	13.11	-0.92	-0.29
P24	29.58	0.84	0.34
P25	49.58	0.59	-6.14
P27	27.70	0.17	6.31

Observações:

- 1 - Os valores apresentados referem-se às reações nos apoios
- 2 - Esforços com valores característicos
- 3 - Forças em tf
- 4 - Momentos em tfm
- 5 - Sistema de coordenadas GLOBAL
- 6 - A força X positiva empurra o apoio da esquerda para a direita
- 7 - O momento X positivo gira o apoio em torno do eixo X no sentido horário
- 8 - A força Y positiva empurra em planta o apoio de baixo para cima
- 9 - O momento Y positivo gira o apoio em torno do eixo Y no sentido horário
- 10 - A força Z positiva empurra o apoio de cima para baixo
- 11 - O momento Z positivo gira o apoio em torno do eixo Z no sentido horário
- \* - Força normal relativa ao caso 'Todas permanentes e acidentais dos pavimentos', demais casos na tabela
- 12 - CA é a cota de arrasamento/assentamento da fundação
- 13 - O peso próprio das fundações não está incluído no modelo

# APÊNDICE O - Forma pavimento tipo com os cabos protendidos e análise de uma faixa protendida

PAVIMENTO TIPO - PROTENDIDO

