

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FELIPE MENSOR FOLCHINI

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS SOLUÇÕES EM LAJE COM VIGOTAS PRÉ-
FABRICADAS PROTENDIDAS, LAJE PRÉ-FABRICADAS TRELIÇADAS E LAJE
MACIÇA CONVENCIONAL: ESTUDO DE CASO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL
NO MUNICÍPIO DE AMPÉRE - PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2021

FELIPE MENSOR FOLCHINI

ANÁLISE COMPARATIVA DAS SOLUÇÕES EM LAJE COM VIGOTAS PRÉ-FABRICADAS PROTENDIDAS, LAJE PRÉ-FABRICADAS TRELIÇADAS E LAJE MACIÇA CONVENCIONAL: ESTUDO DE CASO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL NO MUNICÍPIO DE AMPÉRE - PR

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado a disciplina de TCC II, do curso de Engenharia Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Paôla Regina Dalcanal

PATO BRANCO

2021

19/05/2021

SEI/UTFPR - 2007490 - Graduação: Termo de Aprovação TCC Aluno



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEP. ACADEMICO DE CONSTR. CIVIL DACOC-PB

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

ANÁLISE COMPARATIVA DAS SOLUÇÕES EM LAJE COM VIGOTA PRÉ-FABRICADA PROTENDIDAS, LAJE PRÉ-FABRICADAS TRELIÇADAS E LAJE MACIÇA CONVENCIONAL: ESTUDO DE CASO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL NO MUNICÍPIO DE AMPÉRE - PR.

Por

FELIPE MENSOR FOLCHINI

Monografia apresentada às 10 horas 00 min. do dia 03 de maio de 2021. como requisito parcial, para conclusão do Curso de ENGENHARIA CIVIL da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Msc. JAIRO TROMBETTA	Membro
Prof. Dr. VOLMIR SABBI	Membro
Profª. Drª. PAOLA REGINA DALCANAL	Orientador
Profª. Drª. ELIZÂNGELA MARCELO SILIPRANDI	Professor(a) responsável TCCII



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) VOLMIR SABBI, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em (at) 03/05/2021, às 11:52, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) PAOLA REGINA DALCANAL, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em (at) 03/05/2021, às 13:49, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) ELIZANGELA MARCELO SILIPRANDI, PROFESSOR(A) ORIENTADOR(A), em (at) 03/05/2021, às 16:36, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) JAIRO TROMBETTA, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em (at) 04/05/2021, às 09:16, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site (The authenticity of this document can be checked on the website) https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?aca=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador (informing the verification code) 2007490 e o código CRC (and the CRC code) 2E9C64B4.

Dedico este trabalho a Deus, a minha Família e aos amigos. O apoio e incentivo de todos é a força necessária para alcançar o que parece impossível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que ter iluminado meu caminho durante toda a vida acadêmica, e além destes anos como universitário, em todos os momentos de minha existência vem me guiando.

Agradeço aos meus pais, Adelfirio e Zoneide, e minhas irmãs, Caroline e Isabele, que por toda a vida me deram a estrutura para que eu me tornasse quem sou hoje, sempre incentivando a correr em busca de meus sonhos, sem vocês nada disso seria possível.

A minha professora e orientadora Dr.^a Paôla Regina Dalcanal, por toda sabedoria com quem me guiou e orientou neste trabalho, sempre atenciosa, paciente e compreensiva.

A todos os professores que no decorrer do curso me proporcionaram tanto conhecimento e se tornaram grandes exemplos de profissionais para mim, em especial aos professores da banca: Msc. Jairo Trombetta e Dr. Volmir Sabbi, por quem eu possuo enorme carinho e sou grato por aceitaram o convite para avaliarem meu trabalho.

Aos meus amigos, o maior tesouro que adquiri neste curso, que me trouxeram luz em momentos de escuridão e foram a família em momentos que não era possível tê-la junto a mim.

A Universidade Tecnologia Federal do Paraná, ao Departamento Acadêmico de Construção Civil, que trouxe essa visão de buscar sempre a excelência, o que sempre esteve presente nessa instituição.

*“Não importa o quão forte você bate, mas quanto aguenta apanhar e
continuar lutando.”*

Rocky Balboa

RESUMO

FOLCHINI, Felipe Mensor. **Análise comparativa das soluções em laje com vigotas pré-fabricadas protendidas, laje pré-fabricada treliçadas e laje maciça convencional: estudo de caso de um edifício comercial no município de Ampére – PR.** 2021. 66 págs. Trabalho de Conclusão do Curso Bacharelado em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Pato Branco, 2021.

O intuito do presente trabalho é transcorrer sobre o emprego de lajes pré-fabricadas protendidas. Tal modelo estrutural está se tornando cada vez mais procurado, por visar a redução dos custos e a otimização de sua aplicabilidade na construção civil brasileira, conhecida por possuir um lento crescimento tecnológico em relação aos outros ramos do mercado nacional. Para atingir o objetivo proposto, decidiu-se analisar o sistema estrutural presente em um projeto já desenvolvido de um edifício comercial, localizado na cidade de Ampére – PR, no qual fora empregadas as vigotas protendidas. A partir disso, procurou-se desempenhar um comparativo do quantitativo de materiais, realizando o estudo do mesmo projeto, mas com a utilização de vigotas treliçada e de laje maciça, sistemas já tradicionais na área de estudo. Dessa forma, através da comparação entre os três modelos, foi possível salientar os benefícios decorrentes da utilização deste novo produto, que vão desde a execução de vãos livres maiores, trazendo vantagens arquitetônicas, como também, por possibilitar redução dos custos na estrutura como um todo, fatores que fundamentam sua utilização em maior proporção.

Palavras-chave: Quantitativo de materiais. Custo. Vantagens. Desvantagens.

ABSTRACT

FOLCHINI, Felipe Mensor. **Comparative analysis of solutions for slabs with precast prestressed joists, precast lattice slabs and conventional solid slabs: a case study of a commercial building in Ampére - PR**, 2021. 66 pages. Civil Engineering Undergraduate Thesis (Bachelor Degree) – Academic Departamento f Building Construction, Federal Technological University of Paraná – UTFPR, Pato Branco, 2021.

The goal of this work is to discuss the use of precast prestressed slabs. Such a structural model is becoming more common, due to its cost reduction and optimization of application in the brazilian construction market, known for having a slow technological growth compared to other national market fields. To reach the intended goal, it was decided to analyze the structural system of a finished project of a commercial building located in Ampére - PR, in which prestressed joists were used. From there, comparisons were drawn, taking into consideration the quantitative of materials, having the original project as a base but switching to conventional joists and solid slabs, lattice systems in the field of study. Through comparing the three models it was possible to highlight the benefits of using this new product, such as the execution of larger free spans, architectural advantages, as well as reducing costs for the whole structure, factors that justify its use in larger proportions.

Key words: Quantitative of materials. Costs. Advantages. Disadvantages.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vigota treliçada.....	19
Figura 2: Armação Treliçada	20
Figura 3: Vigota Protendida	21
Figura 4: Seção da vigota e seção composta da laje	22
Figura 5: Condições de escoramento para as lajes protendidas	23
Figura 6: Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s)	27
Figura 7: Coeficientes de arrasto.....	28
Figura 8: Fachada lateral da edificação.....	33
Figura 9: Fachada frontal da edificação.....	34
Figura 10: Planta Baixa do Subsolo.....	35
Figura 11: Planta Baixa do Pavimento Térreo	36
Figura 12: Planta baixa do Pavimento Superior	37
Figura 13: Catálogo de vigotas protendidas	38
Figura 14: Planta de forma do pavimento subsolo.....	40
Figura 15: Planta de forma do pavimento térreo	41
Figura 16: Planta de forma do pavimento superior	42
Figura 17: Planta de forma de cobertura	42
Figura 18: Planta de forma do pavimento térreo em LMC	44
Figura 19: Planta de forma do pavimento superior em LMC	45
Figura 20: Visualização tridimensional do projeto com LMC	46
Figura 21: Tabela de dimensionamento de vigotas h12	47
Figura 22: Planta de forma do pavimento térreo em LPFT	48
Figura 23: Planta de forma do pavimento superior em LPFT	49
Figura 24: Visualização tridimensional do projeto com LPFT	50
Figura 25: Gráfico – Custos totais dos materiais nas lajes propostas	56
Figura 26: Gráfico – Custo percentual de cada elemento na LMC	57
Figura 27: Gráfico – Custo percentual de cada elemento na LPFP	57
Figura 28: Gráfico – Custo percentual de cada elemento na LPFT	58
Figura 29: Gráfico – Custos sem adicionais dos materiais nas lajes propostas	58
.....	58
Figura 30: Gráfico – Custos por material nos modelos pré-fabricados	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantitativo e custos da LPFP	52
Tabela 2: Quantitativo e custos da LMC.....	53
Tabela 3: Quantitativo e custos das estruturas adicionais na LMC	54
Tabela 4: Quantitativo e custos da LPFT.....	55
Tabela 5: Quantitativos e custos das estruturas adicionais na LPFT	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CA – Concreto Armado

CP – Concreto Protendido

EPS – Poliestireno Expandido

LPFP – Laje Pré-Fabricada Protendida

LPFT – Laje Pré-Fabricada Treliçada em Concreto Armado

LMC – Laje Maciça Convencional em Concreto Armado

NBR – Norma Brasileira

VT – Vigota Treliçada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
1.2	JUSTIFICATIVA	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	DESCRIÇÃO DAS LAJES ESTUDADAS	17
2.1.1	Laje Maciça	17
2.1.2	Laje Pré-fabricada com Vigotas Trelaçadas	18
2.1.3	Lajes Pré-Fabricadas Protendidas	21
2.2	CONCEPÇÃO PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL	23
2.2.1	Materiais utilizados nas estruturas em CA e CP	24
2.2.2	Ações na Estrutura	25
2.2.3	Verificação quanto a Indeslocabilidade	28
2.2.4	Verificação quanto ao parâmetro de instabilidade α	29
2.2.5	Coefficiente γ_z	30
2.2.6	Deslocamentos horizontais na estrutura	31
3	METODOLOGIA	32
3.1	ETAPAS DA PESQUISA	32
3.2	PROJETO ANALISADO: ESTUDO DE CASO	33
3.2.1	Projeto Arquitetônico	33
3.2.2	Projeto com laje pré-fabricada protendida (LPFP)	37
3.3	ALTERNATIVAS PROPOSTAS	43
3.3.1	Projeto com laje maciça convencional (LMC)	43
3.3.2	Projeto com laje pré fabricada trelaçada (LPFT)	47
3.4	PARÂMETROS A SEREM COMPARADOS E TÉCNICAS UTILIZADAS PARA COMPARAÇÃO	51
4	LEVANTAMENTO DO QUANTITATIVO DE MATERIAIS E CUSTOS	52
4.1	QUANTITATIVO E CUSTOS DA LAJE PRÉ-FABRICADA PROTENDIDA (LPFP)	52

4.2 QUANTITATIVO E CUSTOS DA LAJE MACIÇA EM CONCRETO ARMADO (LMC)	53
4.3 QUANTITATIVO E CUSTOS DA LAJE PRÉ-FABRICADA TRELIÇADA (LPFT)	54
5 ANÁLISE E RESULTADOS	56
6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FINAIS	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APENDICÊ A – CUSTOS DOS MATERIAIS	66

1 INTRODUÇÃO

“A construção civil é uma atividade industrial caracterizada por um grau elevado de complexidade e que precisa ser bem caracterizado quanto aos seus insumos materiais e mão-de-obra, recursos financeiros e equipamentos.” (ÁVILA; LIBRELOTTO; LOPES; 2003)

A complexidade acima explicitada acaba tornando o setor industrial da construção civil como atrasado em relação aos outros no âmbito nacional, o que remete a baixa produtividade, desperdício de material e baixo controle de qualidade.

Uma alternativa para o aumento da industrialização se dá através da realização da transferência dos serviços dos canteiros de obra para as fábricas, com maquinários modernos que possuem maior controle de desempenho e geram melhorias quanto ao desempenho estrutural, uma maior versatilidade arquitetônica, um alto nível organizacional de produção e também uma maior durabilidade do que construções moldadas *in loco*.

A fabricação de alguns elementos antes do posicionamento final da obra é chamada de pré-fabricação, (REVEL, 1973). Temos que, aproximadamente metade dos pavimentos ao redor do mundo utilizados em edificações domésticas e comerciais possuem lajes pré-fabricadas (ELLIOTT, 2002).

Segundo Pinheiro, Muzardo e Santos (2007), no início do século, o sistema de lajes pré-moldadas treliçadas, era executada através de procedimentos empíricos, pois não existia grande quantidade de estudo, somente catálogos, que informavam de uma maneira geral os procedimentos utilizados durante a execução. Aos poucos isso vem sofrendo mudanças, com estudos e pesquisas sobre os modelos de pré-fabricação

Neste contexto, o presente trabalho analisa um sistema não tão popular na região de estudo: a laje pré-fabricada protendida. Por meio de um estudo de caso de uma edificação comercial na cidade de Ampére – PR, onde o engenheiro responsável adotou este sistema estrutural, o foco desta pesquisa é a substituição por duas novas alternativas que já possuem um mercado consolidado, que são as lajes maciças e lajes pré-fabricadas treliçadas. Também comparar custos e quantidade de materiais empregados.

Para tal, estrutura-se a apresentação das pesquisas da seguinte forma: após a apresentação do tema e dos objetivos gerais e específicos, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os tipos de lajes estudadas, contendo as vantagens e desvantagens já conhecidas de cada modelos. Na sequência, apresenta-se a metodologia de estudo, o projeto de estudo de caso e as estratégias adotadas para a comparação com as demais soluções. Identificam-se, então, as outras soluções de laje, os resultados e análises das comparações, concluindo com os prós e contras da utilização de cada tipo de laje analisada.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Apresentar um estudo de caso em um edifício comercial, comparando o sistema utilizado de laje pré-fabricada em concreto protendido (LPFP) com os sistemas de lajes em concreto armado: maciça e pré-fabricada treliçada em termos de custos e quantitativo de materiais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Interpretar o dimensionamento do estudo de caso;
- Redimensionar, utilizando o software CAD/TQS v22 estudantil, a estrutura do edifício estudado, originalmente projetado em laje pré-fabricada em concreto protendido, utilizando laje maciça em concreto armado;
- Redimensionar a estrutura do edifício estudado, originalmente projetada com laje pré-fabricada em concreto protendido, utilizando a laje pré-fabricada em concreto armado;
- Comparar o custo específico de cada sistema.
- Comparar a quantidade de materiais utilizados nas lajes pré-fabricadas.

1.2 JUSTIFICATIVA

O aumento na concorrência do mercado da construção civil leva as construtoras e os engenheiros a uma busca por melhorias, reduzindo os custos, aumentando a rapidez, proporcionando um maior custo-benefício.

De acordo com Botelho (2011), dentre as obras que estão em construção ou já foram concluídas no Brasil, 90% são de pequeno e médio patamar, como prédio de até quatro andares, o restante são edifícios de alto padrão ou outras obras especiais.

A importância deste trabalho tem como busca a otimização da construção civil atual, aliando a redução de custos com a eficiência. Devido ao fato de a maioria das vezes o sistema estrutural optado pelo engenheiro estrutural ocorre conforme sua familiaridade e experiência prática, tem-se neste trabalho a busca de um referencial de padrão de custo entre as tipologias de lajes propostas;

Quanto a originalidade da pesquisa, tem-se a análise comparativa entre as diferentes lajes: pré-fabricada protendida, maciça e pré-fabricada em concreto armado. Todas projetadas para o mesmo estudo de caso, realizando a análise técnica-financeira para uma edificação comercial.

Adotou-se por meio do presente trabalho a realização de uma pesquisa buscando informar de forma prática ao leitor, podendo atingir todos os interessados, mesmo leigos, instigando o leitor a buscar sempre a melhor opção para o seu caso, afim de reduzir os custos sem perder qualidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DESCRIÇÃO DAS LAJES ESTUDADAS

As lajes são elementos estruturais, em placas de concreto, de superfície plana, em que a dimensão perpendicular à superfície, denominada espessura é relativamente pequena se comparada às demais, estando sujeitas principalmente a ações normais em seu plano. (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2012).

2.1.1 Laje Maciça

As lajes maciças apresentam espessura uniforme em toda sua área e, é necessária uma estrutura para a sua sustentação inicial, como formas, normalmente executadas com madeira.

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2012), é necessário ainda o escoramento de todas as lajes, enquanto ainda não possuem resistência satisfatória para absorver os esforços.

Um sistema convencional de concreto armado é concebido basicamente por lajes maciças apoiadas em vigas, as quais apoiam-se nos pilares. As lajes recebem as cargas aplicadas no pavimento e seu peso próprio, transmitem os esforços às vigas que transferem aos pilares e por último transferem para as fundações.

É da prática usual o vão médio econômico das lajes maciças variar entre 3,5 e 5 metros, e a esbelteza na ordem de 1/40 a 1/60, não sendo muito recomendada para vencer grandes vãos. (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2012) (ALBUQUERQUE; PINHEIRO, 2002).

A parcela de concreto utilizado em um edifício com o sistema convencional, com lajes maciças e vigas em concreto armado, pode chegar até 2/3 do volume total da estrutura. (FRANCA; FUSCO, 1997)

Para Araújo (2010), as lajes maciças devem ser dimensionadas de modo a evitar deformações e vibrações que causem desconforto aos usuários. Também, procura-se adotar uma espessura suficiente para evitar a necessidade de armaduras superiores.

Os limites mínimos para a espessura das lajes maciças, de acordo com o especificado na ABNT NBR 6118 (2014):

- 7 cm para lajes de cobertura em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30kN.

Conforme especificam Albuquerque e Pinheiro (2002), as características principais desse sistema são:

- apresenta uma maior quantidade de vigas, gerando a forma do pavimento muito recortada, reduzindo a produtividade da construção e a reutilização de formas;
- grande consumo de formas;
- possui uma boa rigidez à estrutura, devido a grande quantidade de vigas;
- existe uma mão-de-obra adaptada e bem treinada, devido a ser o sistema estrutural de concreto mais utilizado por muito tempo.;
- grande volume de concreto.

2.1.2 Laje Pré-fabricada com Vigotas Trelaçadas

A laje pré-moldada com vigotas trelaçadas é constituída por vigas pré-fabricadas de concreto armado, nas quais se apoiam elementos de material leve e em cima disto é aplicada uma capa de concreto, cobrindo todos os elementos. (CHAVES, 2012)

Para Droppa Junior (1999), as lajes trelaçadas podem ser tratadas como estruturas monolíticas, pois possuem grande solidarização do concreto moldado no local com a armadura. Quanto a parte estrutural, estas lajes possuem o mesmo

funcionamento de uma laje projetada de forma convencional, gerando maior economia e rapidez através dos elementos pré-moldados.

Medrano, Figueiredo e Carvalho, (2005) asseguram que as lajes pré-moldadas podem ser aplicadas em pequenas habitações, residências, edifício comerciais, fábricas, etc. É um sistema de grande viabilidade principalmente devido à facilidade de execução.

As lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas podem ser unidirecionais ou nervuradas; as nervuras são constituídas por vigotas treliçadas pré-fabricadas, distribuídas no menor vão, e também pelo material de enchimento, que acabam substituindo o concreto que abaixo da linha neutra não possui função estrutural. Este material inerte pode ser tanto tabelas cerâmicas quanto os blocos de EPS. (FRANCA; FUSCO,1997)

Segundo Cunha (2012), as vigotas são formadas por uma base de concreto e armadura treliçada, podendo ser inserida armaduras adicionais dependendo do carregamento e dimensionamento da laje. Ela é dimensionada tanto para resistir aos esforços após a concretagem quanto ao transporte e montagem. O formato de uma vigota treliçada pode ser observado na figura 1.

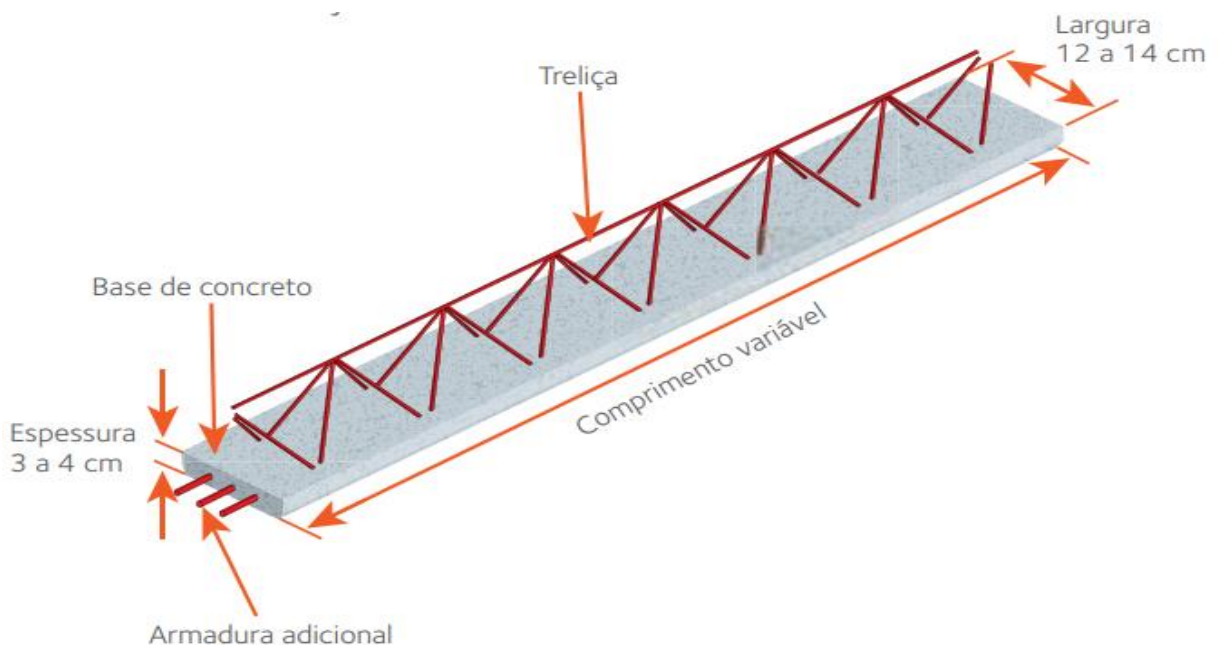


Figura 1: Vigota treliçada
Fonte: ARCELOR MITAL, 2021.

De acordo com o Catálogo Técnico Belgo (2012), os fios superiores garantem rigidez ao conjunto, além de colaborar como armadura resistente ao momento fletor negativo após a retirada do escoramento, e como armadura de compressão durante a concretagem da estrutura. As armaduras diagonais nas treliças promovem a coesão entre o concreto do elemento pré-moldado e a capa, além disso colaboram contra a força cortante. Já os fios inferiores da treliça ajudam a resistir ao momento fletor positivo. A armação pode ser visualizada na figura 2.

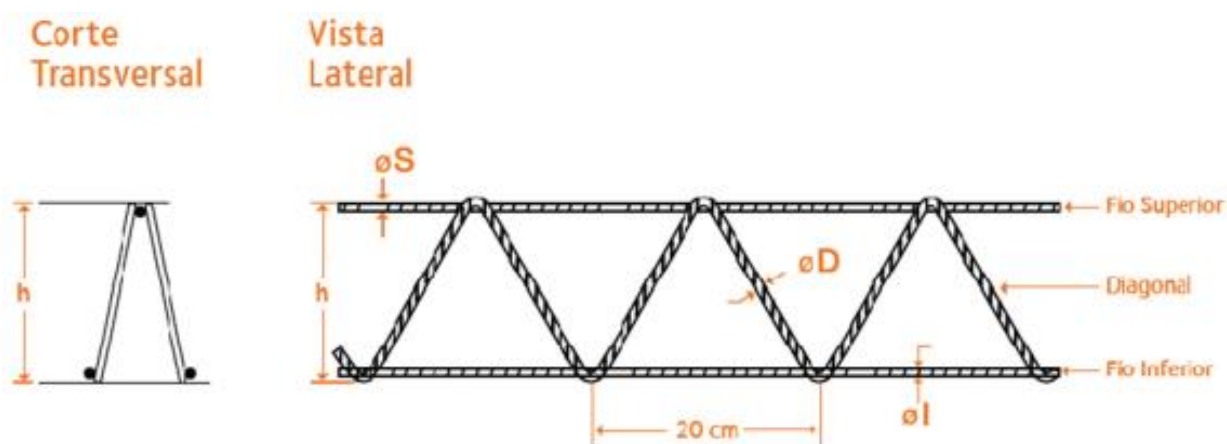


Figura 2: Armação Treliçada
 Fonte: Catálogo Técnico Belgo (2012).

Muniz (1991) aponta as principais características deste sistema, afirmando as vantagens e as desvantagens existentes:

Vantagens:

- Diminuição do peso da laje;
- Redução significativa de formas o que acaba gerando economia de madeiras;
- Redução de prazos de execução de obras;
- Redução de material em estoque e movimentação no canteiro de obras;
- Diminui custo de mão de obra com armadores e carpinteiros;

Desvantagens:

- Transporte, se a obra for longe da fábrica;
- Equipamentos necessários para o içamento das peças;

- Dificuldade na fixação dos elementos de enchimento, com a possibilidade de movimentação dos mesmo durante a concretagem;

2.1.3 Lajes Pré-Fabricadas Protendidas

As lajes protendidas pré-fabricadas podem ser classificadas em três tipos, com vigotas protendidas, painel alveolar e em duplo tê; lajes com vigotas protendidas são compostas por nervura de concreto protendido, completado por elementos de enchimento que podem ser de EPS (isopor) ou lajotas cerâmicas, que tem como objetivo servirem de forma para o concreto da capa e o resto da nervura. (CARVALHO, 2012)

Na figura 3 é apresentada uma vigota protendida:



Figura 3: Vigota Protendida
Fonte: Catálogo Técnico Belgo (2012).

Conforme o Manual de lajes pré fabricadas protendidas TATU, 2017 (online) o funcionamento estrutural da laje é similar ao de uma laje armada em uma só direção. A princípio, as vigotas compõem o único elemento resistente da laje e após a concretagem suportam a carga de todos os componentes da laje (enchimento, armaduras, capa de concreto e o peso próprio) além da sobrecarga de execução.

Após a cura do concreto de capeamento, ela passa a trabalhar como nervuras compostas (concreto das vigotas + concreto moldado no local). Esta seção composta apresenta uma resistência muito maior em relação aos esforços resistentes da vigota pré-fabricada protendida, como mostrado na figura 4:

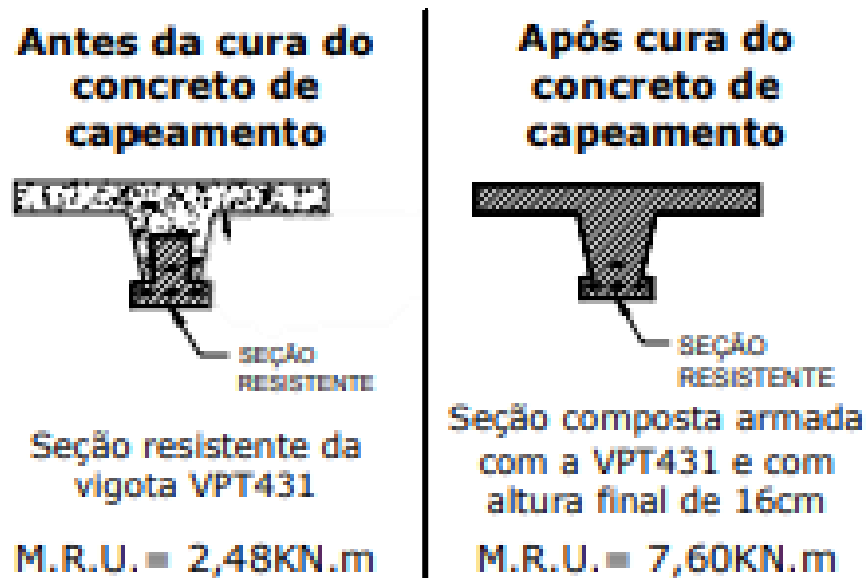


Figura 4: Seção da vigota e seção composta da laje
 Fonte: Catálogo Técnico Belgo (2012).

O mesmo manual informa que as vigotas protendidas podem até suportar o carregamento na execução sem escoramento, mas em casos com maiores vãos ou lajes mais pesadas é necessária a utilização de escoras, essas condições estão expostas na figura 5:

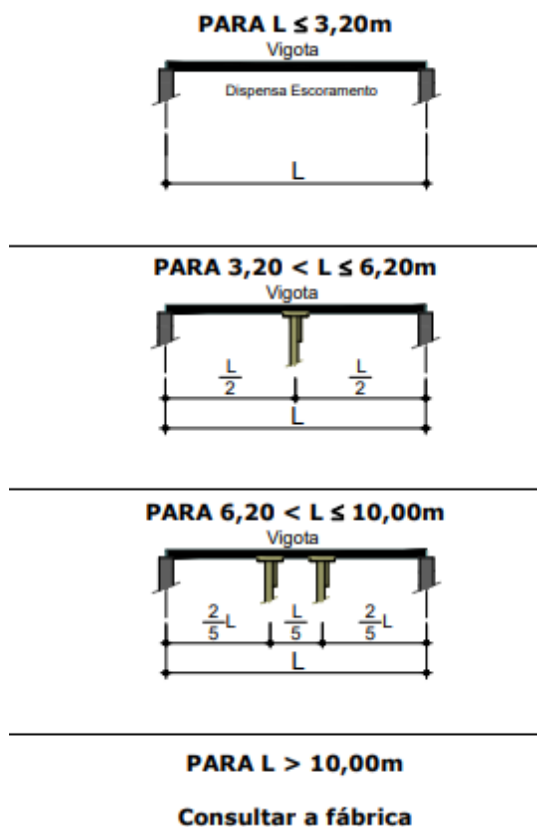


Figura 5: Condições de escoramento para as lajes protendidas
Fonte: Catálogo Técnico Belgo (2012).

De acordo com o Manual de Utilização de Lajes Pré-Fabricadas Protendidas (TATU, 2017), algumas características deste sistema são:

- Facilidade na utilização e montagem;
- Redução ou eliminação de escoramento, comparado às lajes tradicionais;
- Redução do consumo de concreto e peso-próprio;
- Maiores vãos e menores flechas;
- Não permite execução de nervuras transversais, impedindo o emprego deste tipo de elemento em uma laje bidirecional.

2.2 CONCEPÇÃO PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL

“A concepção estrutural, ou simplesmente estruturação, também chamada de lançamento da estrutura, consiste em escolher um sistema estrutural que constitua a parte resistente do edifício.” (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2007)

Ainda, PINHEIRO (2007), afirma que é uma das partes mais importantes no projeto estrutural, a qual implica na escolha do elemento e da sua posição, o qual forma um sistema que consiga resistir a todos os esforços oriundos das ações atuantes de uma maneira econômica e em harmonia com os demais projetos.

2.2.1 Materiais utilizados nas estruturas em CA e CP

Todos os materiais utilizados nas estruturas de concreto armado seguem a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a disponibilidade comercial.

Segundo as especificações da ABNT NBR 7480 (2007), os aços utilizados nas estruturas de concreto armado são:

- Aço CA-60 com diâmetro de 4,2mm e 5,0mm para armadura de lajes e estribos de vigas e pilares;
- Aço CA-50 com diâmetros de 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0 e 25,0mm para armaduras longitudinais de pilares, vigas e lajes

Quanto à protensão, utiliza-se aço de alta resistência necessário para transferir as tensões ao concreto. Mas, este aço não possui índices de escoamento, rompendo sem apresentar quaisquer sinais. (CECHINEL, 2016).

Os aços de protensão, são identificados pela sigla CP (concreto protendido), e apresentam em seu nome o valor aproximado da tensão de ruptura do aço que consiste na cordoalha, cordão ou fio. Dentro disso, existe a classificação conforme a relaxação: RN para relaxação normal ou RB para relaxação baixa, referindo-se ao tratamento do aço. (VERÍSSIMO; CESAR JÚNIOR, 1998).

Os fios possuem diâmetro máximo de doze milímetros, e permite grandes comprimentos, diferente das barras, pois são distribuídos em rolos. Os cordões são grupos de dois ou três fios, entrelaçados conforme uma hélice, e nomeados pela quantidade de fios e diâmetro. Um conjunto de seis ou mais fios agrupados, podendo ser em uma ou mais camadas em torno de um fio, são chamados de cordoalha. Nela, o fio central possui um maior diâmetro aos demais, e o diâmetro total do conjunto que define o diâmetro da cordoalha. (CARVALHO, 2012).

Para a escolha da resistência a compressão do concreto utiliza-se a ABNT NBR 6118 (2014), onde é variável em relação a classe de agressividade ambiental (CAA). Como o projeto localiza-se numa zona urbana, revestido com argamassa e pintura, considera-se a classe de CAA II (moderada), conforme Tabela 6.1 da ABNT NBR 6118:2014

Com isso, segundo a Tabela 7.1 da ABNT NBR 6118:2014, utilizaremos em nosso edifício concreto C25 (concreto com $F_{ck} = 25\text{MPa}$ aos 28 dias de idade), resistência mínima exigida para CAA II. Além disso, adotaremos o cobrimento nominal de 25mm para as lajes e 30mm para vigas e pilares.

2.2.2 Ações na Estrutura

De acordo com a ABNT NBR 8681 (2003), as ações são as causas que provocam as deformações ou esforços nas estruturas, em função do tempo e podem ser classificadas como permanentes, variáveis e excepcionais.

i) Ações Permanentes:

Ações que estão presentes praticamente em toda a vida útil da estrutura, dividindo-se em diretas e indiretas.

As *ações permanentes diretas* incluem os pesos próprios dos elementos estruturais e construtivos, além do peso de equipamentos e do empuxo gerado pelo peso próprio de terra.

As *ações permanentes indiretas* ocorrem através da fluência e retração do concreto, além de recalques de apoio, imperfeições geométricas e protensão.

ii) Ações Variáveis:

Ações decorrentes das cargas acidentais das construções variáveis em função do tempo, além de forças do vento, a variação de temperatura, cargas móveis, etc.

De acordo com a ABNT NBR 6120 (2019), são recomendados os seguintes pesos específicos:

- Concreto armado: 25 kN/m³
- Alvenaria de tijolos furados: 13 kN/m³
- Argamassa de cal, cimento e areia: 19 kN/m³
- Revestimentos: 1,0 kN/m²
- Telhado: 0,45 kN/m²

Para as cargas variáveis, o valor de pior situação de acordo com a ABNT NBR 6120 (2019) é:

- Bancos, agências (área de atendimento ao público): 3,0 kN/m²

iii) Ações excepcionais

Ações geradas por explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais. São aquelas que possuem baixa probabilidade e curta duração durante a vida útil da construção.

2.2.2.1 Ações horizontais na estrutura

De acordo com a ABNT NBR 6123 (1988), as ações do vento foram calculadas, considerando os seguintes critérios:

- Edifício localizado no centro da cidade de Ampére – PR, em um terreno pouco acidentado;
- Edificações vizinhas de baixo porte;
- Velocidade do vento $V_0 = 47\text{m/s}$, conforme o gráfico de isopletras da ABNT NBR 6123 (1988), apresentado na figura 6:
- Fator topográfico: terreno praticamente plano.
- Rugosidade do terreno: terreno plano com edificações baixas e esparsas, categoria III.

- Dimensões da edificação: classe A, devido a edificação possuir a maior dimensão não excedente de 20 m.
- Fator Estatístico: para edificação comercial.
- Coeficiente de arrasto: adotam-se dois casos, com altura $H = 9,90\text{m}$ e medidas laterais $a = 15,50\text{ m}$ e $b = 19,25\text{ m}$, conforme a figura 7.

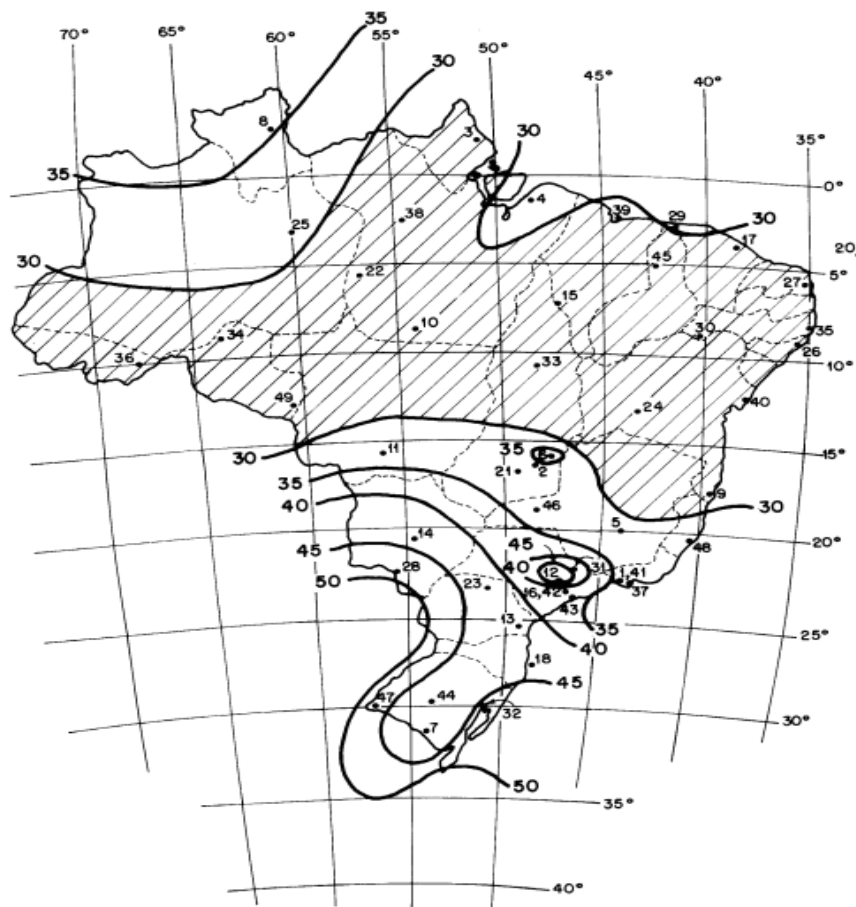


Figura 6: Isopletas da velocidade básica V_o (m/s)
Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

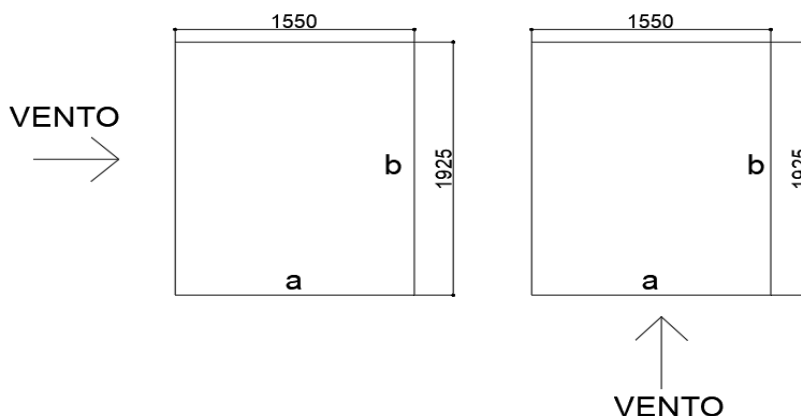


Figura 7: Coeficientes de arrasto
Fonte: Autoria própria.

2.2.3 Verificação quanto a Indeslocabilidade

Após a fase do pré-dimensionamento, a próxima etapa é o processo do pórtico espacial e cálculo dos parâmetros “alfa” e “gama” (ALBUQUERQUE, 1999).

As estruturas são consideradas com nós fixos, para efeito de cálculo quando possuir deslocamentos horizontais pequenos nos nós, o que gera efeitos globais de 2ª ordem quase nulos (menor que 10% dos mesmos esforços de 1ª ordem). Assim, conforme a ABNT NBR 6118 (2014), basta considerar efeitos locais e localizados de 2ª ordem.

Caso haja a rejeição destes valores, inicia-se novamente a etapa de concepção e pré-dimensionamento, afim de aumentar a rigidez estrutural. Algumas alternativas para este aumento é um reposicionamento dos pilares, ou aumento das dimensões dos elementos do pórtico; se não suficiente, podem-se inserir núcleos rígidos.

De acordo com as normas da ABNT NBR 6118 (2014) é possível incluir na estrutura os contraventamentos, que são subestruturas de grande rigidez a ações horizontais; também os contraventados, subestruturas que não participam da subestrutura de contraventamento.

Analisa-se o conjunto de edificação de maneira tridimensional, considerando as cargas tanto verticais, peso próprio, carga accidental, quanto horizontais, oriundas das ações do vento atuando na estrutura.

Ainda, Albuquerque (1999) recorda a importância da verificação dos parâmetros de instabilidade em ambas as direções, visto que muitas vezes a direção secundária apresenta resultados menos favoráveis que os da direção principal em virtude da falta de pórticos.

2.2.4 Verificação quanto ao parâmetro de instabilidade α

Para Giongo (2007), a análise de estabilidade global de um edifício avalia a “sensibilidade” da mesma em relação aos efeitos de 2ª ordem. Beck introduziu em 1966 um coeficiente que mede essa “sensibilidade”, o qual foi denominado de parâmetro de instabilidade por Franco em 1985.

Esse modelo proposto por Beck só era considerado no regime elástico, e por um pilar de seção constante com base engastada e topo livre, o qual era submetido a cargas uniformes distribuídas em toda sua altura. Este parâmetro é descrito por:

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{\frac{N_k}{E_{cs} I_c}} \quad (1)$$

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1n \text{ se } : n \leq 3$$

$$\alpha_1 = 0,6 \text{ se } : n \geq 4$$

onde:

n – número de andares acima da fundação;

H_{tot} – altura da estrutura, medida do topo da fundação;

N_k – somatório das cargas verticais atuantes na estrutura, com seu valor característico;

$E_{cs} I_c$ – somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. No caso de estruturas de pórtico, com pilares de rigidez variável, de treliças ou mistas, considera-se o valor da expressão $E_{cs} I_c$ de pilar equivalente com seção constante.

2.2.5 Coeficiente γ_z

Utilizado para medir a importância dos efeitos de 2ª ordem das edificações, o coeficiente γ_z foi desenvolvido pelos engenheiros Mário Franco e Augusto Carlos Vasconcelos. Aplica-se apenas nas forças horizontais, servindo como um majorador, e determinando os efeitos de 2ª ordem presentes nos elementos estruturais.

Conforme a ABNT NBR 6118 (2014), o coeficiente γ_z é uma avaliação dos esforços de segunda ordem globais, utilizado em estruturas com no mínimo quatro andares. É determinado através dos resultados de uma análise linear de primeira ordem. A seguinte expressão determina o valor de γ_z em cada combinação de carregamento.

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (2)$$

onde:

$M_{1,tot,d}$ – momento de tombamento, é a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada;

$\Delta M_{tot,d}$ – soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, obtidos da análise de 1ª ordem.

A vantagem do coeficiente γ_z em relação ao parâmetro de instabilidade α é a de ter uma avaliação aproximada dos esforços globais estruturais, pois o parâmetro α só informa se a estrutura pode ou não ser indeslocável.

2.2.6 Deslocamentos horizontais na estrutura

O deslocamento horizontal máximo admissível, medido no topo da estrutura, onde para ações provocadas pela ação do vento ocorre o maior valor de deslocabilidade, segundo a ABNT NBR 6118 (2014), é igual a $H/1700$, sendo H a altura máxima. Já entre os pavimentos, a norma indica que o deslocamento máximo permitido se limita a $h_i/850$, sendo h_i o desnível entre os pavimentos vizinhos.

3 METODOLOGIA

O trabalho é de natureza quantitativa (GIL, 2008), possuindo como campo a região da cidade de Ampére no Paraná, e como objeto de pesquisa um edifício comercial, que foi projetado com a utilização de laje pré-fabricada protendida.

Para a instrumentação de coletas de dados, utilizou-se a pesquisa bibliográfica em livros, teses, artigos, normas, catálogos e monografias. Outro instrumento de coleta de dados foi a comunicação com o engenheiro responsável, o qual disponibilizou o projeto estrutural para este estudo de caso. Também o contato com as empresas e indústrias regionais, para adquirir os valores de custos, afim de realizar-se o comparativo.

Quanto aos instrumentos de análise de dados, obteve-se: as tabelas e gráficos, desenvolvidos a partir dos dados coletados; gráficos comparando os custos dos materiais presentes nos três tipos de lajes da pesquisa; gráficos comparando custos entre os materiais presentes nos modelos pré-fabricados, análise na mudança da estrutura em termos de inclusão de elementos estruturais como vigas e pilares.

3.1 ETAPAS DA PESQUISA

Para a realização do estudo de caso, analisou-se o projeto arquitetônico e o projeto estrutural já desenvolvido com a utilização do sistema Laje Pré-fabricada Protendida (LPFP).

Após, com a utilização do *software* CAD/TQS v22 estudantil, elaborou-se dois projetos estruturais, adotando a Laje Maciça Convencional (LMC) e a Laje Pré-Fabricada Trelaçada (LPFT), não alterando a arquitetura original da edificação.

Faz-se a composição unitária de cada sistema, com seus custos por m² para comparação dos sistemas em termos de valor. Os valores dos materiais foram retirados do mercado no sudoeste do Paraná, adotando uma média entre ao menos três empresas. Também foram considerados as quantidades e os valores adicionais de pilares, vigas e fôrmas necessários para cada sistema, em relação ao LPFP.

Uma análise mais detalhada da quantidade de material (fôrma, aço, concreto, enchimento EPS ou cerâmico e vigotas) foi realizada comparando-se os sistemas pré-fabricados (LPFP e LPFT).

3.2 PROJETO ANALISADO: ESTUDO DE CASO

Os nomes tanto da agência bancária, quanto do escritório responsável pela arquitetura e do engenheiro estrutural foram preservados a pedidos do próprio engenheiro responsável. Portanto, faz-se aqui uma descrição da arquitetura e do projeto estrutural adotado no estudo de caso.

3.2.1 Projeto Arquitetônico

A arquitetura apresentada refere-se a uma edificação comercial com área total de 700,57m², onde será alocada uma agência bancária, localizada na cidade de Ampére – PR. As figuras 8 e 9 apresentam as fachadas da edificação:

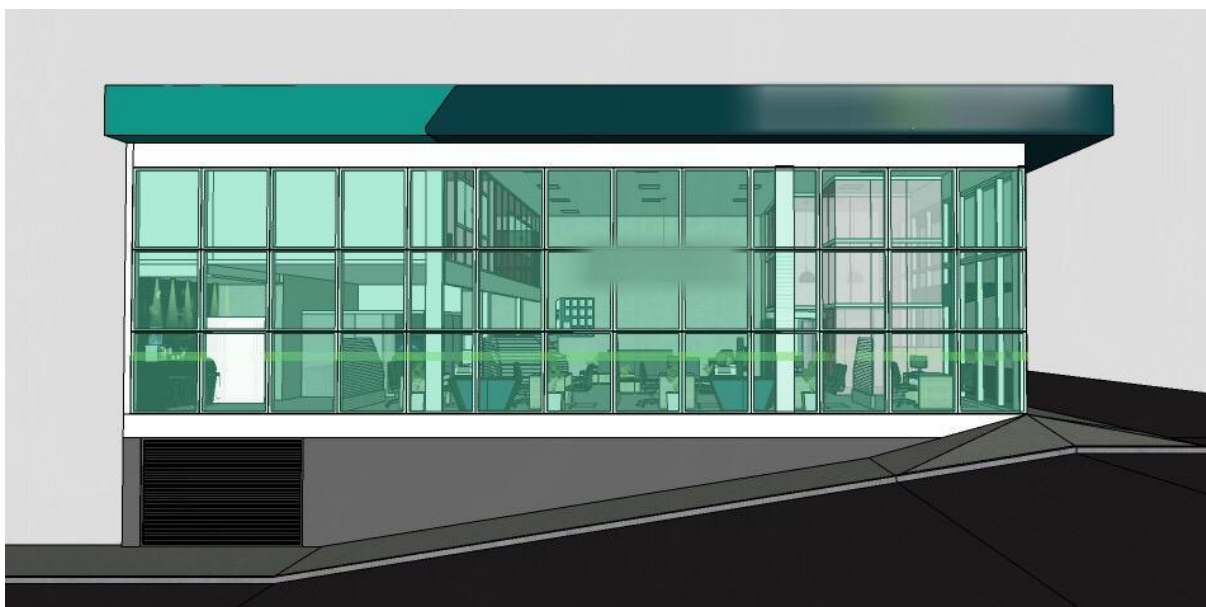


Figura 8: Fachada lateral da edificação
Fonte: Disponibilizada pelo engenheiro responsável.



Figura 9: Fachada frontal da edificação
Fonte: Disponibilizada pelo engenheiro responsável.

Constituído por três pavimentos, o edifício possui um subsolo com área de 298,40 m², que terá utilização apenas como garagem (conforme a figura 10), sendo 11 vagas convencionais, uma de idoso e uma para pessoas com necessidades especiais.

O pavimento térreo dispõe de 298,40m² e comporta todo o setor de atendimento, além de uma sala designada ao gerente, os caixas, uma sala de espera e os sanitários (figura 11), projetado em paredes leves, com exceção do local destinado aos sanitários que é em alvenaria convencional.

E o pavimento superior, que é um mezanino, de 103,83 m², destinado à sala de reuniões, sala de arquivo, copa e sanitários (mostrado na figura 12).

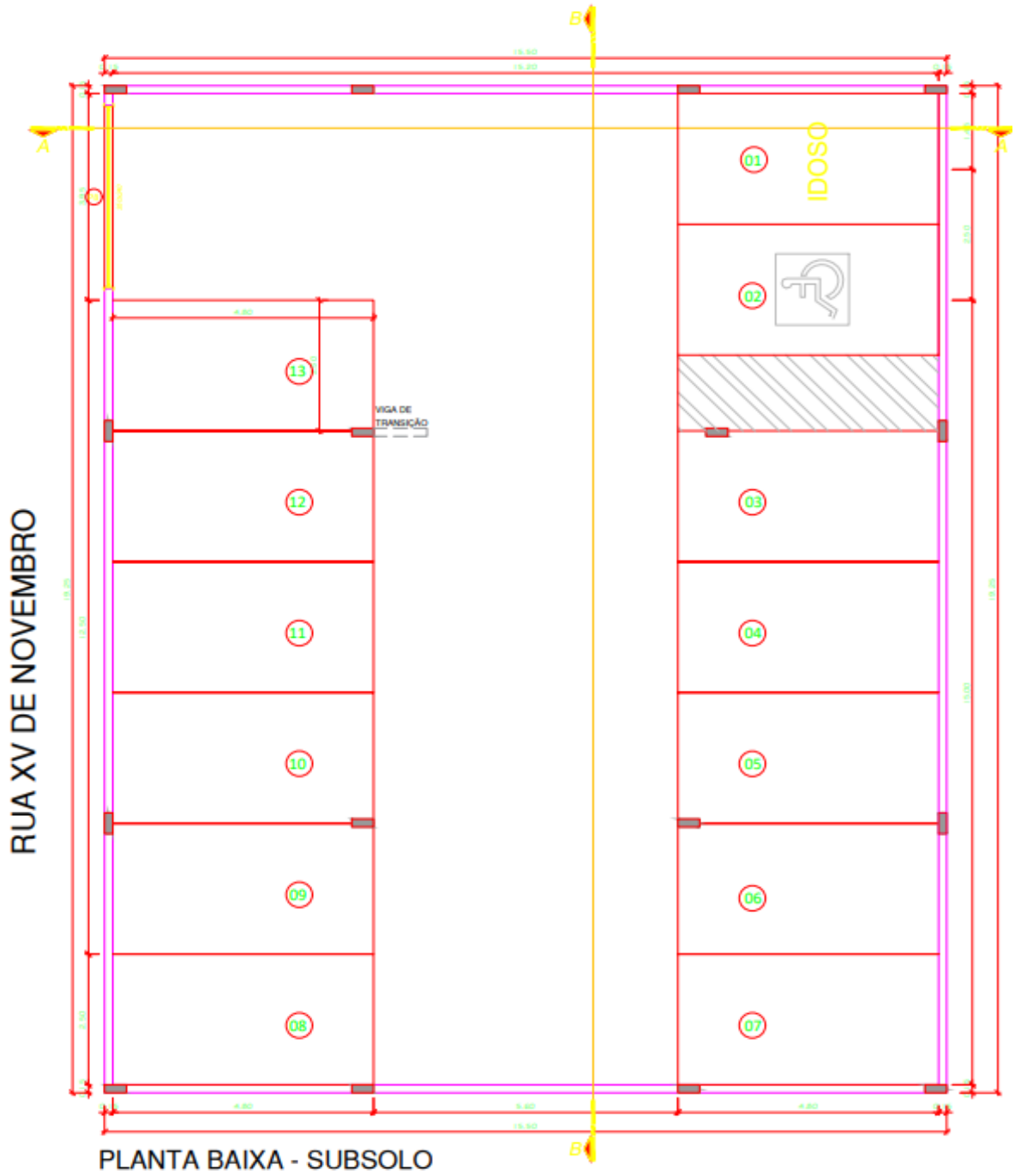


Figura 10: Planta Baixa do Subsolo
 Fonte: Disponibilizada pelo engenheiro responsável.

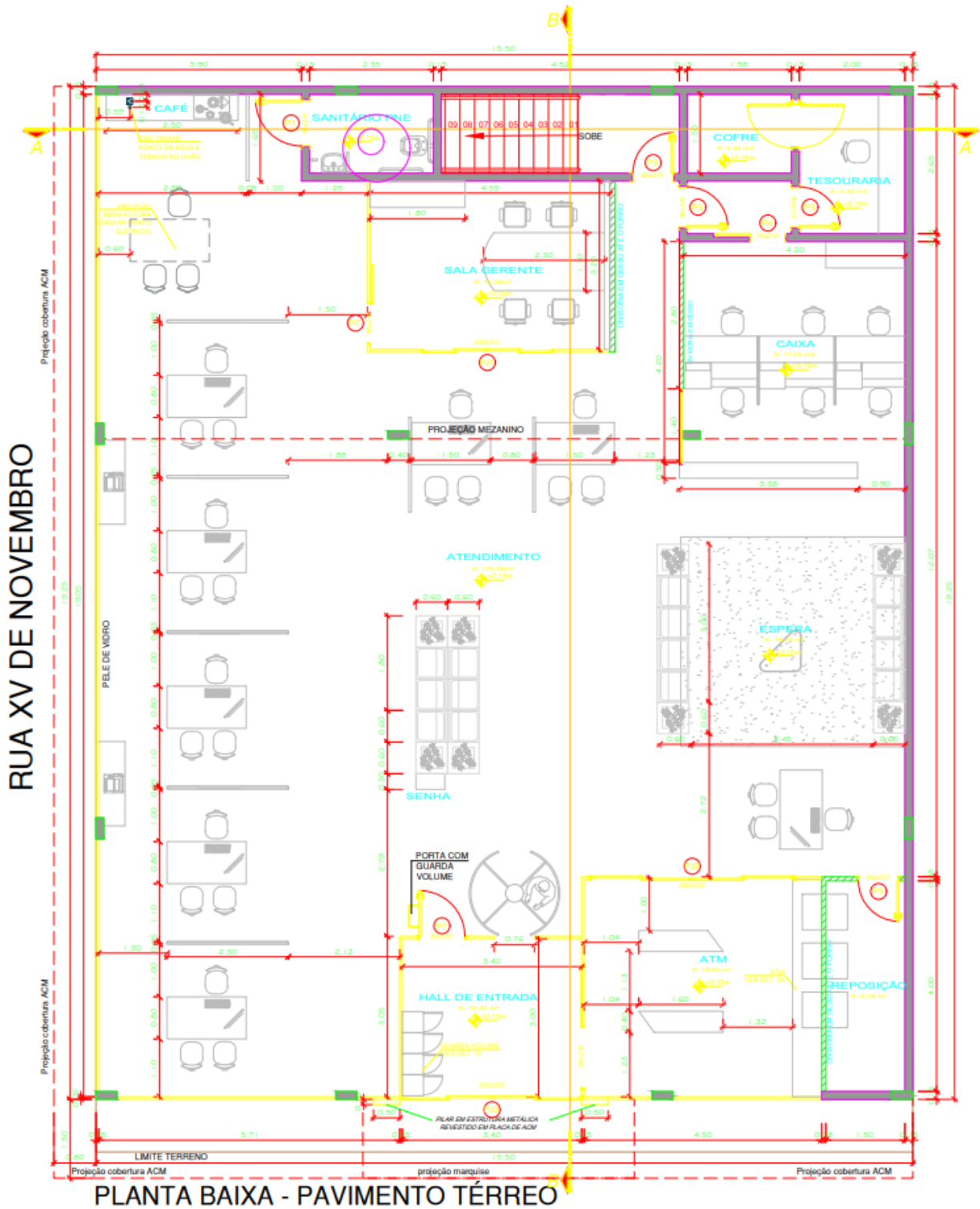


Figura 11: Planta Baixa do Pavimento Térreo
 Fonte: Disponibilizada pelo engenheiro responsável.

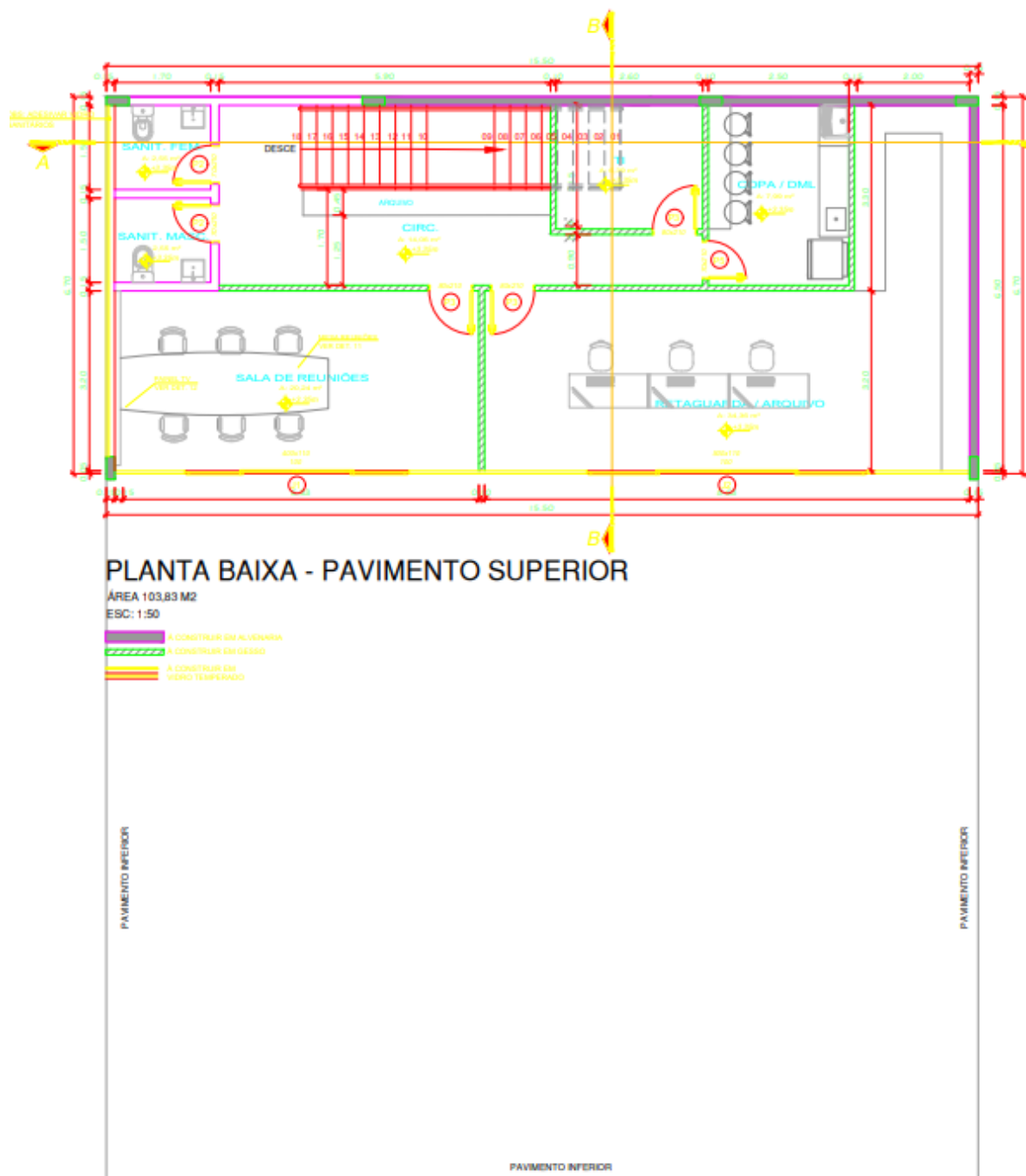


Figura 12: Planta baixa do Pavimento Superior
 Fonte: Disponibilizada pelo engenheiro responsável.

3.2.2 Projeto com laje pré-fabricada protendida (LPFP)

Na concepção do projeto que foi executado, o engenheiro responsável optou pela utilização da LPFP devido aos maiores vãos suportados, possibilitando a redução

do número dos pilares na estrutura. Sendo o maior vão unidirecional entre os apoios da laje igual a 7,10 m. A sobrecarga adotada para agências bancárias é de 3,0kN/m², e a preferência pela utilização de EPS ao invés de blocos cerâmicos, então o modelo de vigotas utilizados foi a de 16cm. Além disso adotou-se a capa de concreto de 4cm com o uso de concreto da classe C25 (Fck = 25 Mpa). Seguindo as recomendações do catálogo da empresa que o engenheiro responsável utilizou, demonstrado na figura 13:

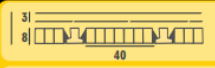
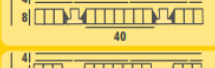
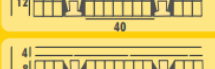
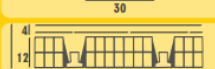
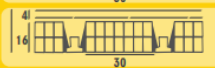


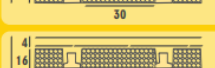
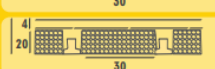

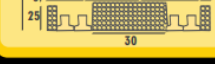


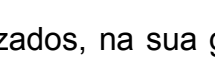
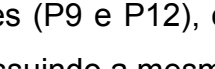
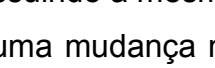
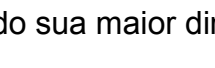


ELEMENTO DE ENCHIMENTO/ CERÂMICA	COMPOSIÇÃO	PESO PRÓPRIO (kgf / m2)	CONSUMO CONCRETO (m3 / m2)	CONDIÇÃO DE APOIO	VALORES MÁXIMOS (cm)									
					SOBRECARGAS (Kg/m ²)									
					100	200	250	300	400	500	600	700	800	1000
CERÂMICA		151	0,033	A-A E-A E-E	600	505	475	445	405	370	345	325	305	275
		171	0,043	A-A E-A E-E	675	570	535	505	455	420	390	365	345	315
		211	0,051	A-A E-A E-E	765	670	625	590	535	495	460	430	410	370
		171	0,044	A-A E-A E-E	655	555	520	490	445	410	380	355	340	305
		220	0,054	A-A E-A E-E	735	620	590	555	500	465	430	405	385	350
		257	0,064	A-A E-A E-E	775	735	690	650	590	545	510	480	450	410
		290	0,074	A-A E-A E-E	690	665	625	590	540	500	480	440	415	380
		171	0,044	A-A E-A E-E	765	750	705	670	610	570	550	500	475	430
		220	0,054	A-A E-A E-E	895	775	730	735	720	665	645	595	565	515
		257	0,064	A-A E-A E-E	715	615	575	545	495	455	415	400	375	340
		290	0,074	A-A E-A E-E	765	690	650	615	555	515	480	450	425	390
		365	0,121	A-A E-A E-E	855	765	740	710	655	605	565	530	505	460
EPS		134	0,054	A-A E-A E-E	765	720	680	645	590	545	510	480	455	415
		167	0,056	A-A E-A E-E	825	765	735	730	655	615	580	550	515	475
		191	0,064	A-A E-A E-E	930	840	795	765	755	725	680	645	610	560
		217	0,074	A-A E-A E-E	805	750	740	725	665	620	580	550	520	480
		290	0,096	A-A E-A E-E	900	795	755	750	730	700	660	620	595	545
		290	0,096	A-A E-A E-E	940	910	885	845	780	750	730	715	700	670
		365	0,121	A-A E-A E-E	855	760	725	720	700	680	640	605	580	530
		365	0,121	A-A E-A E-E	880	860	815	780	720	710	700	685	655	600
		365	0,121	A-A E-A E-E	910	900	880	870	850	795	750	720	710	700
		365	0,121	A-A E-A E-E	700	580	540	510	455	420	390	365	345	310
		365	0,121	A-A E-A E-E	765	655	610	575	515	475	440	415	390	355
		365	0,121	A-A E-A E-E	830	765	715	675	610	610	510	485	460	420

Figura 13: Catálogo de vigotas protendidas
Fonte: Catálogo PROTENG – Soluções em engenharia, 2016.

A estrutura adotada pelo engenheiro estrutural dispõe de pilares padronizados, na sua grande maioria por dimensões 15 cm x 40 cm, com algumas exceções (P9 e P12), onde descarregarão as cargas provenientes da laje de maior vão, possuindo a mesma largura, mas 50 cm de comprimento (figura 14). O pilar P7, possui uma mudança na sua seção, nascendo com 15 cm x 79,5 cm no subsolo e reduzindo sua maior dimensão para 40cm nos demais pavimentos.

No pavimento subsolo, as vigas baldrame foram dimensionadas com 15cm de largura por 40cm de altura, dimensões que se mantiveram nas vigas dos demais pavimentos. Com exceção viga V6 do pavimento térreo, que serve de apoio à escada (figura 15), e as vigas do mezanino, onde foi necessária uma maior altura para resistir aos esforços.

No pavimento superior, o mezanino possui uma das extremidades da laje com borda infinita (figura 16). Quanto ao pavimento cobertura, não foi optado pela utilização de laje, necessitando apenas de uma estrutura metálica com cobertura com telha metálica e forro em gesso (figura 17).

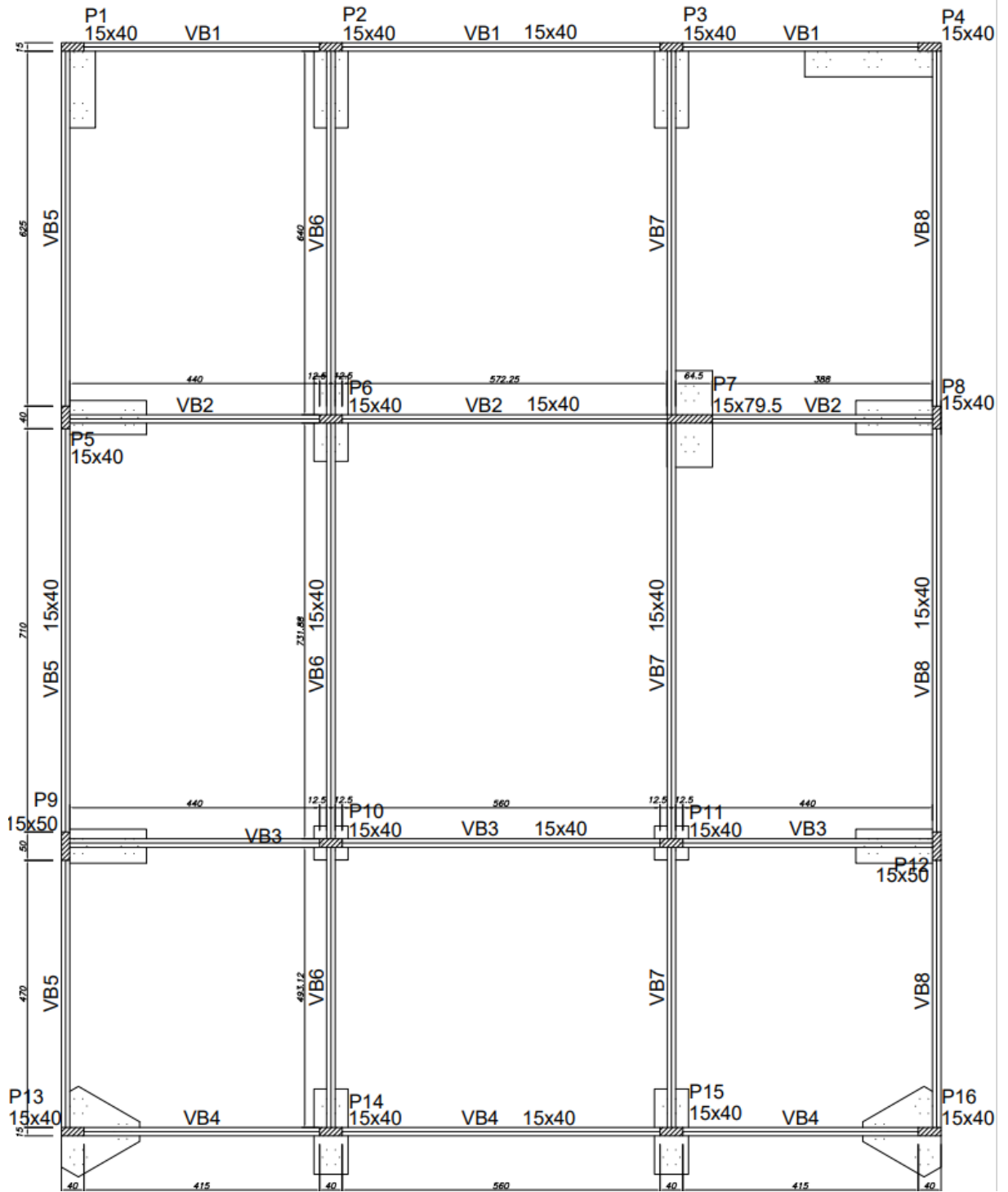


Figura 14: Planta de forma do pavimento subsolo
Fonte: Disponibilizada pelo engenheiro responsável.

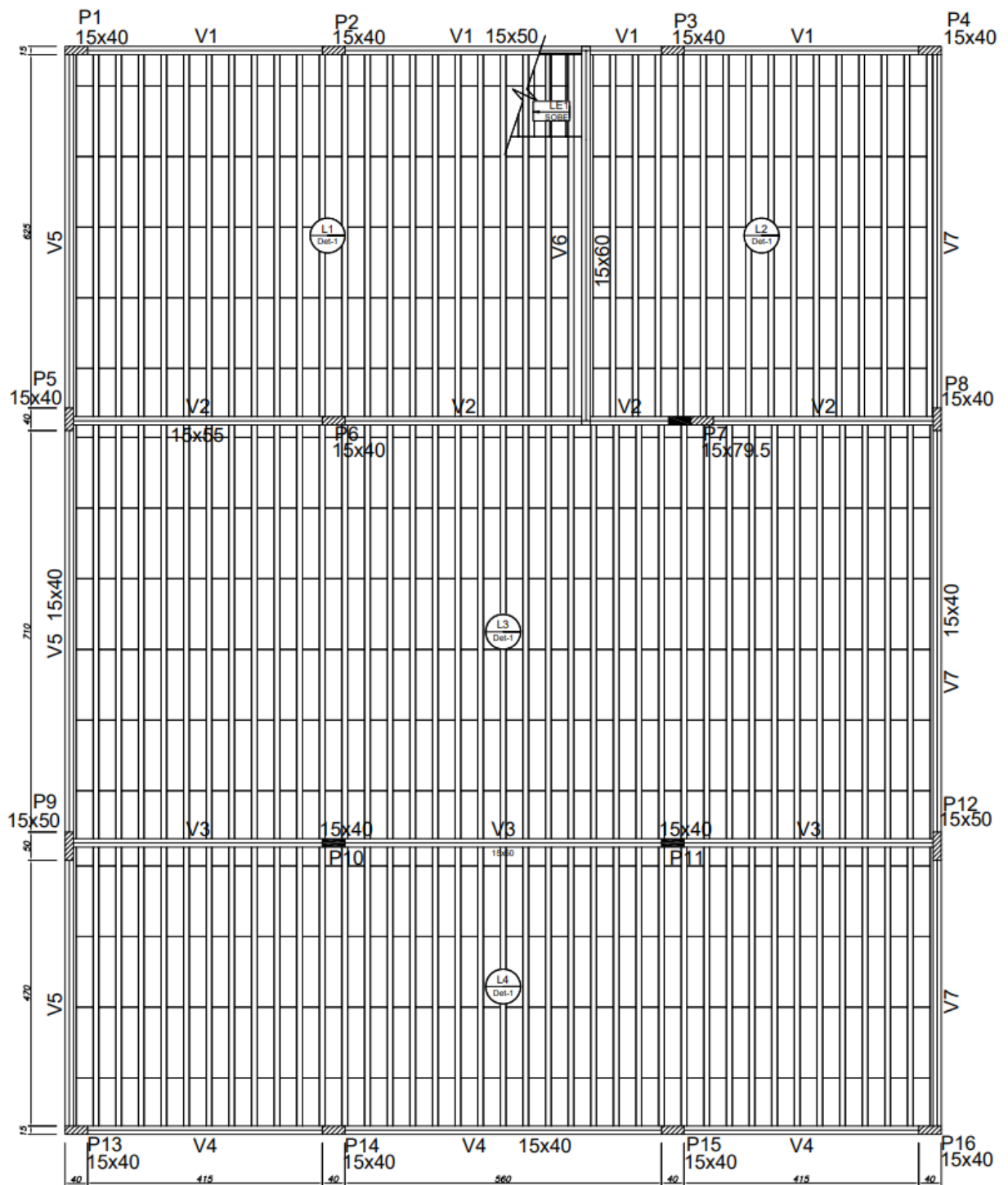


Figura 15: Planta de forma do pavimento térreo
Fonte: Disponibilizada pelo engenheiro responsável.

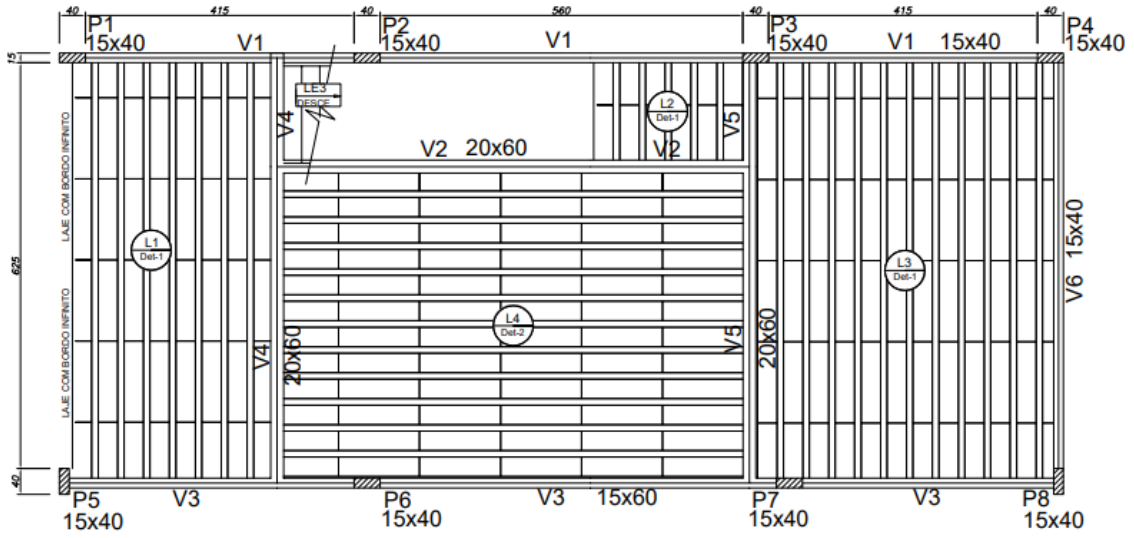


Figura 16: Planta de forma do pavimento superior
 Fonte: Disponibilizada pelo engenheiro responsável.

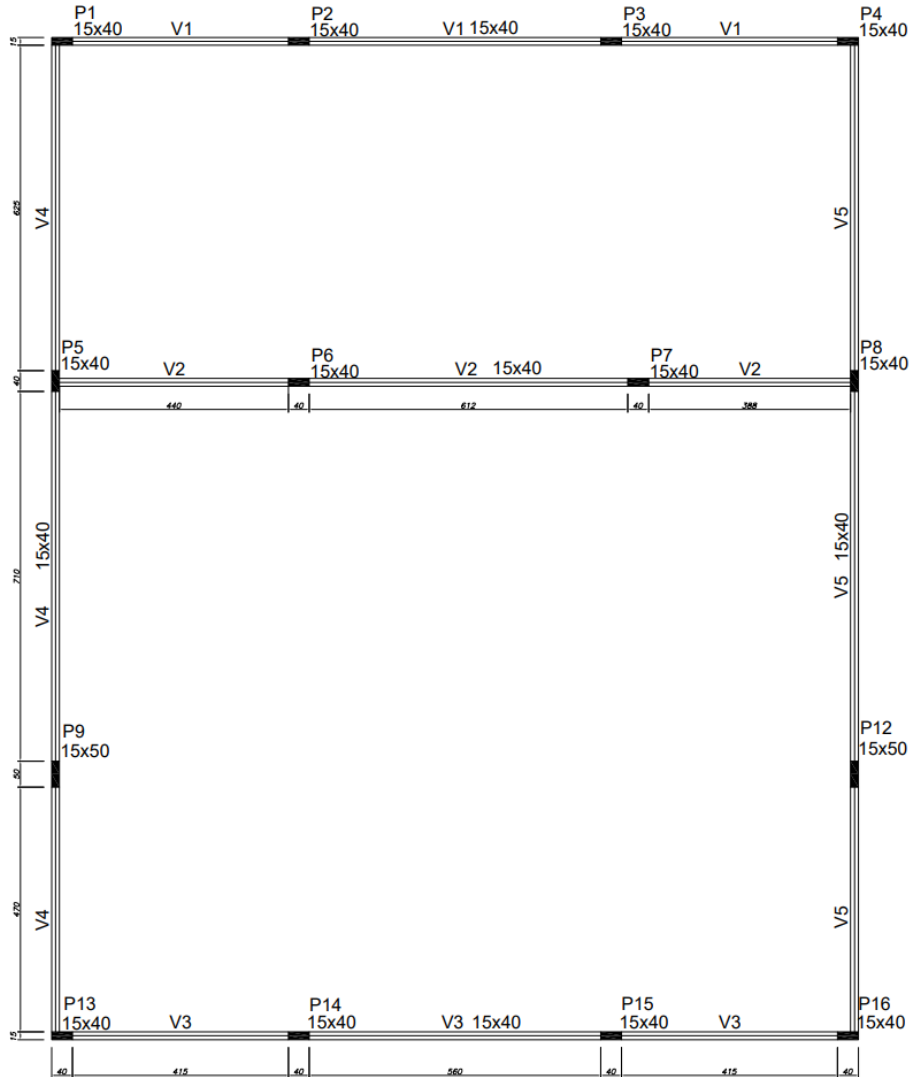


Figura 17: Planta de forma de cobertura
 Fonte: Disponibilizada pelo engenheiro responsável.

3.3 ALTERNATIVAS PROPOSTAS

3.3.1 Projeto com laje maciça convencional (LMC)

Ao desenvolver o projeto com a utilização de laje maciça, adotaram-se os mesmos valores de sobrecargas utilizadas para LPFP e optou-se por tentar manter o mais próximo possível a concepção inicial adotada pelo engenheiro. Para um projeto mais viável em questão dos custos, adicionaram-se pilares e vigas afim de reduzir os vãos da laje.

Através de conhecimento empírico, para o pré-dimensionamento adotaram-se vãos de no máximo 7,0 m, conforme já citado no item 2. A estimativa inicial da altura da laje foi $h = 15\text{cm}$, que foi adotada, em todas as lajes por facilidade na montagem.

Para conseguir atender aos vãos, adicionou-se uma fileira de pilares e vigas para distribuir as tensões e travar os mesmos. A partir disso, com a nova concepção estrutural, realizou-se a execução do processamento no programa, o qual analisou e dimensionou toda a estrutura. Após, com a aprovação do software, a prancha de formas foi gerada, (figura 18), nela encontra-se os novos pilares P09, P10, P11 e P12, as novas vigas V3, V7 e trecho da V8 e também se visualiza a nova distribuição dos elementos estruturais. Devido a limitação do software, não foi possível realizar a plotagem correta, não trazendo os detalhamentos.

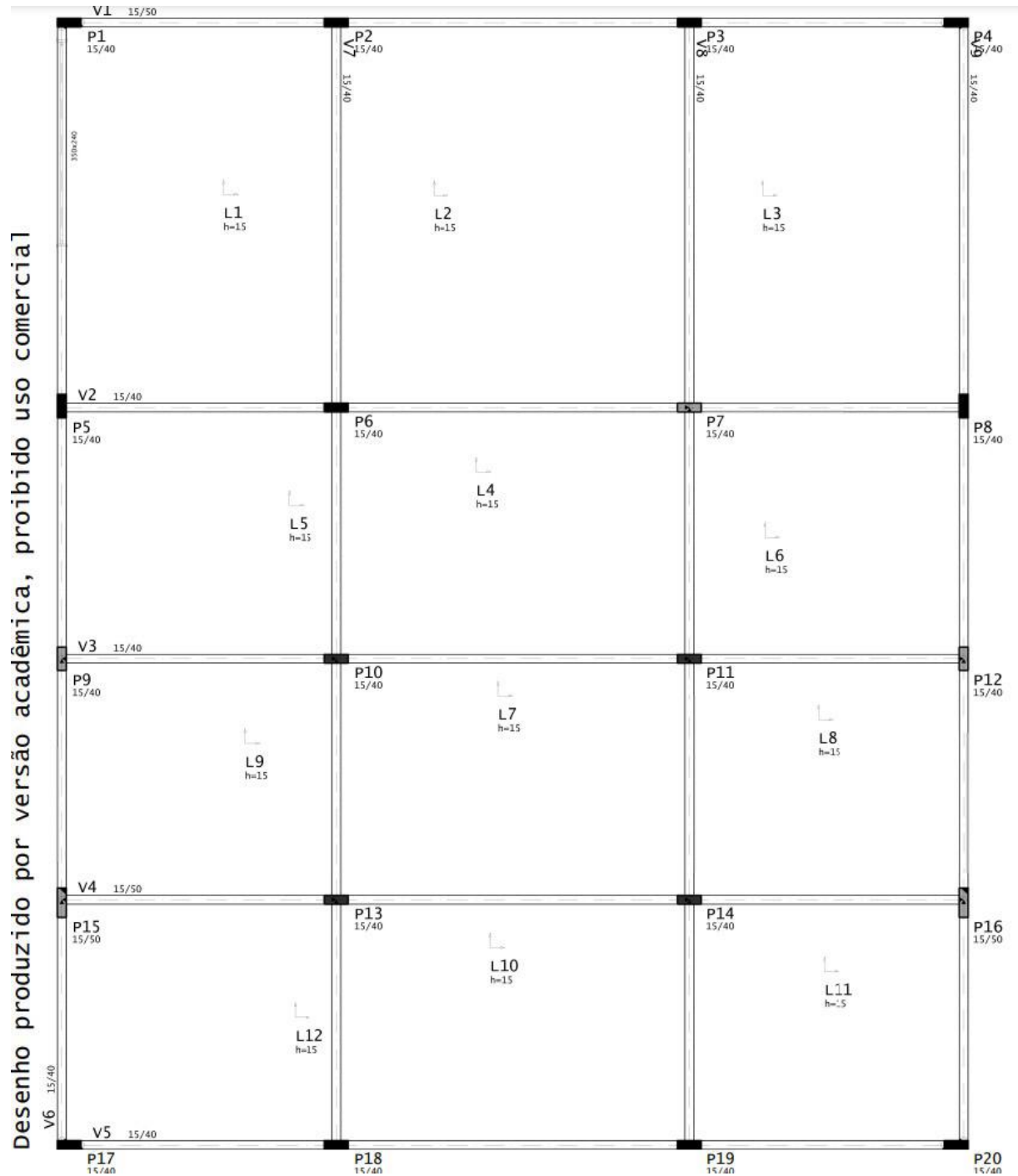


Figura 18: Planta de forma do pavimento térreo em LMC
Fonte: Autoria própria.

Apesar do grande aumento do peso próprio em relação aos outros sistemas de lajes abordados neste trabalho, não foi necessária mais nenhuma modificação quanto ao sistema estrutural. Talvez seja necessário um reforço na fundação, o que não é o foco deste trabalho, além de não se ter disponível os laudos de sondagem e o software utilizado não possibilitar este cálculo.

Na laje do pavimento superior, no mezanino não foi necessária a adição de mais elementos estruturais. A laje L2, diferentemente do restante das outras lajes, foi dimensionada como laje armada em uma única direção, isso devido a relação entre as suas dimensões. Isto é demonstrado Figura 19:

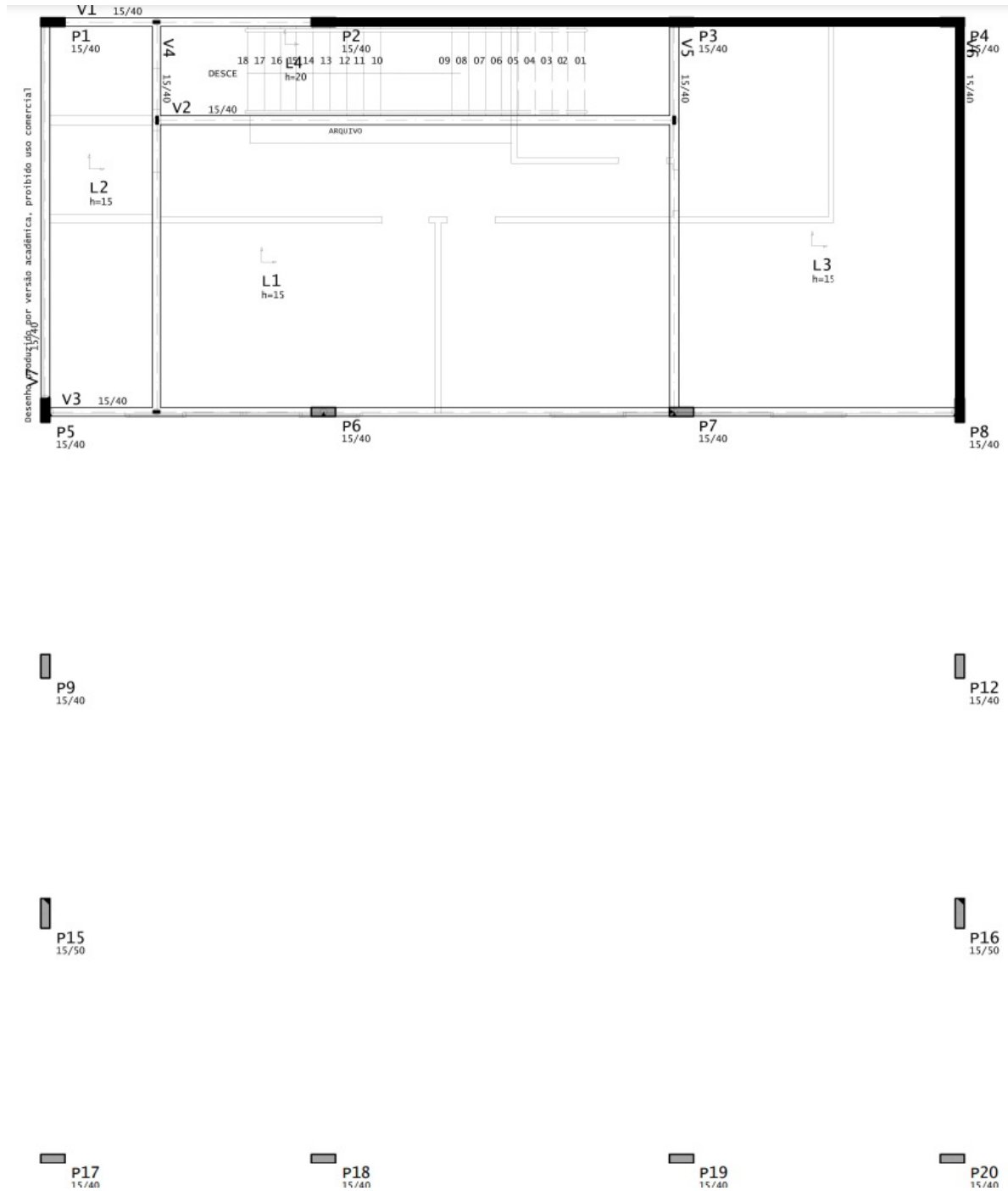


Figura 19: Planta de forma do pavimento superior em LMC
Fonte: Autoria própria.

O restante dos pavimentos manteve a mesma estrutura. O projeto pode ser visualizado em três dimensões, através da figura 20:

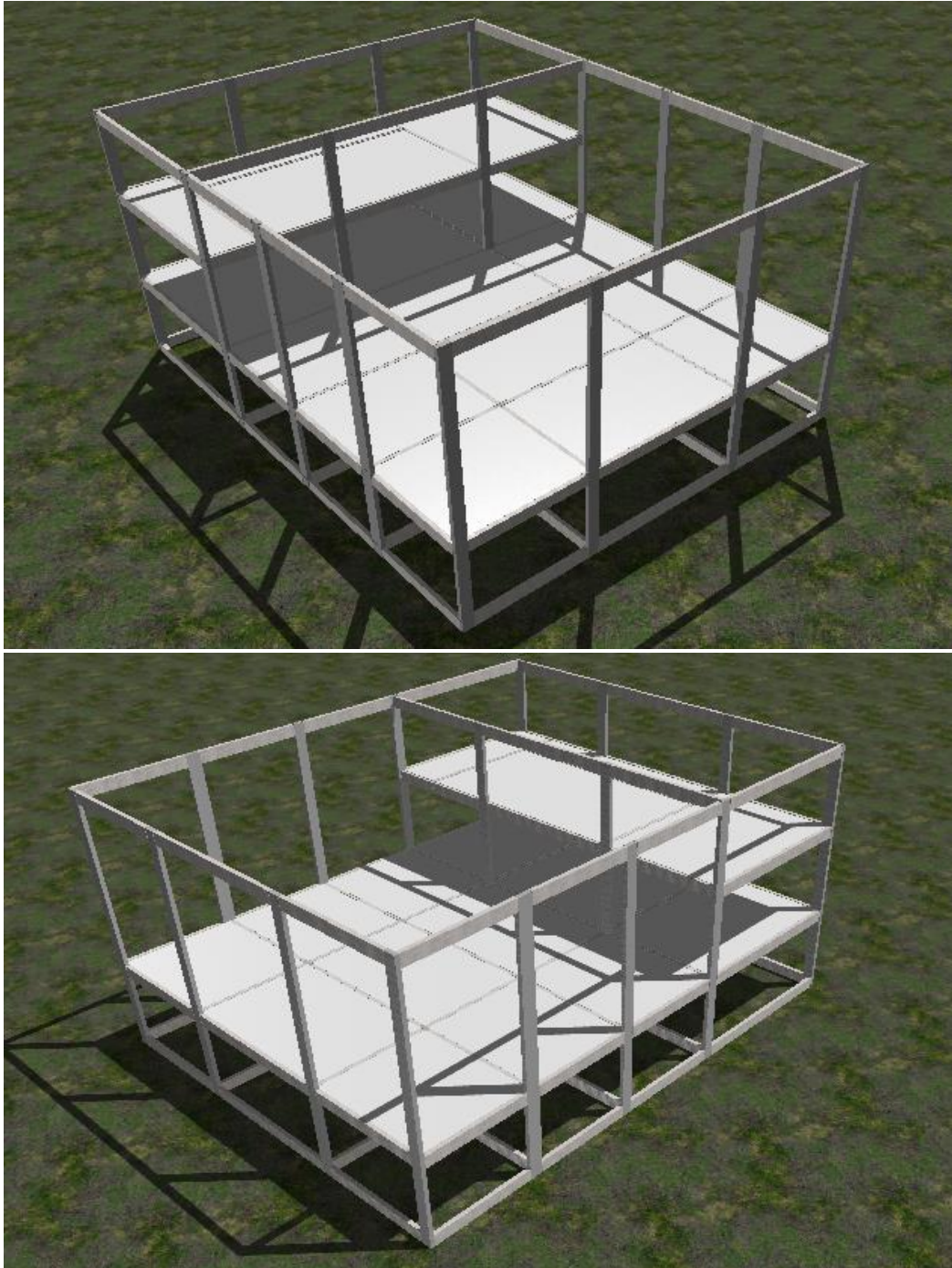


Figura 20: Visualização tridimensional do projeto com LMC
Fonte: Autoria própria.

3.3.2 Projeto com laje pré fabricada treliçada (LPFT)

Para o projeto com a utilização de vigotas pré-fabricadas treliçadas, na concepção inicial buscou-se a similaridade com o projeto disponibilizado. Entretanto algumas alterações foram necessárias, devido a menor carga resistida neste tipo de vigota em relação à protendida.

Com uma carga acidental de $3,0 \text{ kN/m}^2$, e vãos que chegam próximos a $5,0\text{m}$, optou-se pelo uso da vigota VT 12, com $4,0 \text{ cm}$ de capa de concreto, gerando uma laje com a altura de $16,0\text{cm}$. Além disso é necessário o adicional de armaduras negativas, a qual tem função de melhorar as distribuições de tensões, evitando a fissuração superficial. Este pré-dimensionamento deu-se através de tabelas fornecidas por manuais e catálogos das indústrias, apresentado na figura 21:

Tabela de armaduras adicionais

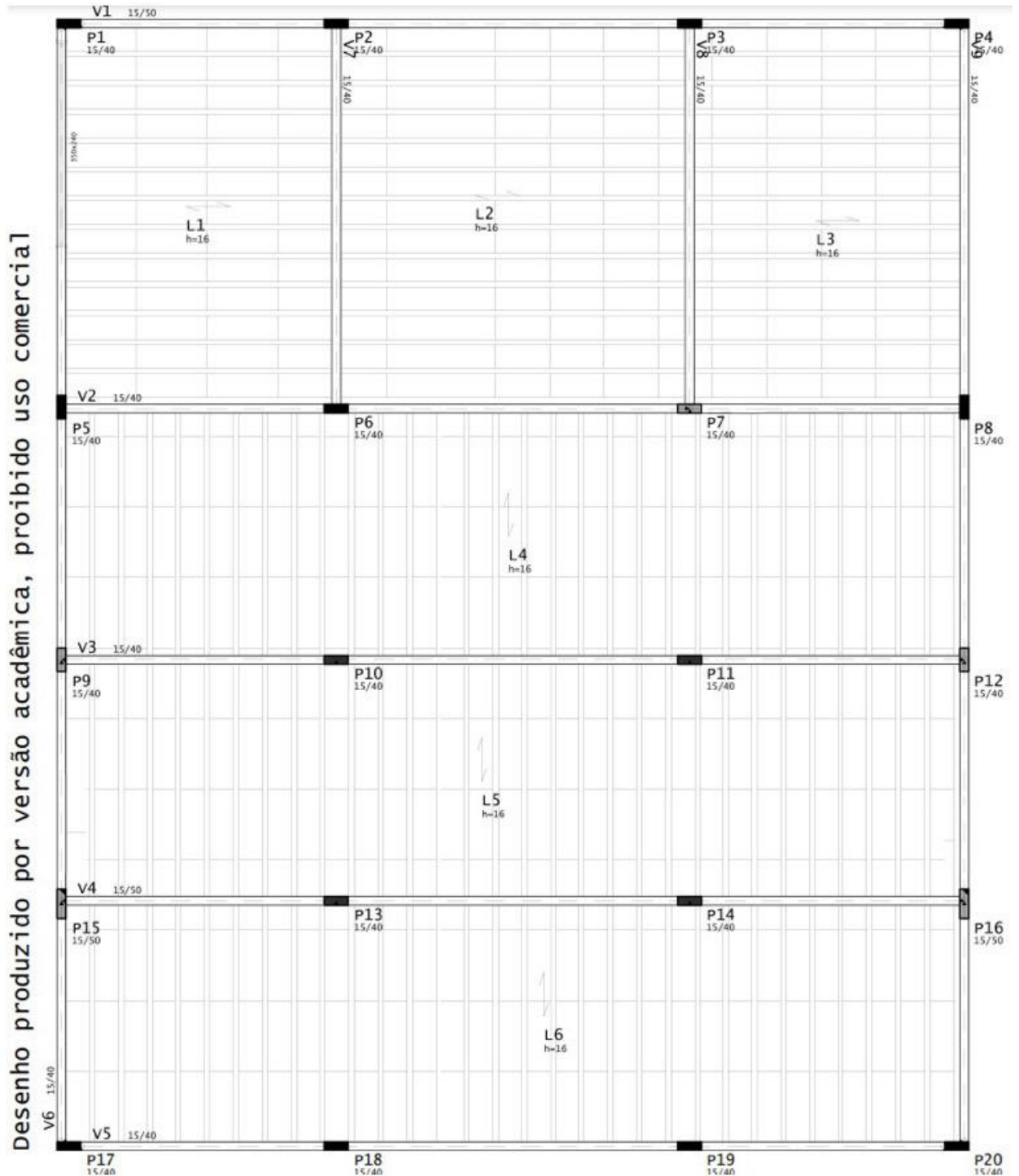
Enchimento = Bloco EPS (Altura = 12 cm) - Distância entre linhas de escoras = 1,50 m

Modelo TB 12M	Designação TR12645	Altura da laje 16 cm		Altura capa 4 cm		Consumo de concreto 56 litros/m ³		Peso próprio 157 Kgf/m ³					
		Cargas acidentais kgf/m ²											
		50 Kg/m ²	100 Kg/m ²	150 Kg/m ²	200 Kg/m ²	250 Kg/m ²	300 Kg/m ²	350 Kg/m ²	400 Kg/m ²	450 Kg/m ²	500 Kg/m ²	550 Kg/m ²	600 Kg/m ²
3.00			1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	2 Ø 5,0	2 Ø 5,0	3 Ø 4,2	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	3 Ø 5,0
3.20			1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	3 Ø 5,0	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0
3.40		1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	3 Ø 4,2	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	4 Ø 5,0	1 Ø 12,5
3.60		1 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	3 Ø 4,2	4 Ø 4,2	3 Ø 5,0	4 Ø 5,0	4 Ø 5,0	4 Ø 5,0	3 Ø 6,0	1 Ø 12,5	1 Ø 12,5
3.80		1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	2 Ø 5,0	3 Ø 4,2	4 Ø 4,2	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	2 Ø 5/16	1 Ø 12,5	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16
4.00		1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	2 Ø 5/16	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	3 Ø 5/16	4 Ø 5/16
4.20		1 Ø 4,2	2 Ø 4,2	4 Ø 4,2	3 Ø 5,0	4 Ø 5,0	2 Ø 5/16	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	2 Ø 10,0	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16
4.40		1 Ø 5,0	2 Ø 5,0	2 Ø 6,0	4 Ø 5,0	2 Ø 5/16	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	3 Ø 10,0
4.60		2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	1 Ø 10,0	2 Ø 5/16	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	3 Ø 10,0	3 Ø 10,0
4.80		2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 5,0	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	3 Ø 10,0	3 Ø 10,0	2 Ø 12,5
5.00		2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	3 Ø 6,0	1 Ø 12,5	3 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16	3 Ø 10,0			
5.20		3 Ø 4,2	3 Ø 5,0	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	4 Ø 5/16	4 Ø 5/16						
5.40		4 Ø 4,2	4 Ø 5,0	4 Ø 6,0									
5.60		4 Ø 4,2	4 Ø 5,0										
5.80		1 Ø 10,0	2 Ø 5/16										
Capa		Tela Belgo Q61				Tela Belgo Q75				Tela Belgo Q92			

Figura 21: Tabela de dimensionamento de vigotas h12
Fonte: Manual Técnico de Lajes Treliçadas ArcelorMittal (2018).

Em comparação ao projeto inicial disponibilizado pelo engenheiro e buscando na medida do possível não alterar a arquitetura, afim de atender a resistência suportada pela laje necessitou-se de uma redução dos vãos teóricos. No térreo, adicionou-se mais uma viga (V3) a qual distribuiu sua carga em quatro novos pilares

(P9, P10, P11 E P12). Estas alterações são demonstradas na planta de forma disposta na figura 22:



No mezanino a concepção inicial foi mantida, devido ao maior vão unidirecional ser inferior a 5,0m. Por praticidade e facilidade na hora da compra e da execução,

adotou-se o mesmo tipo de vigotas em todas as lajes, o qual já vinha sendo seguido do pavimento térreo. Na figura 23 temos a planta de formas do pavimento superior.

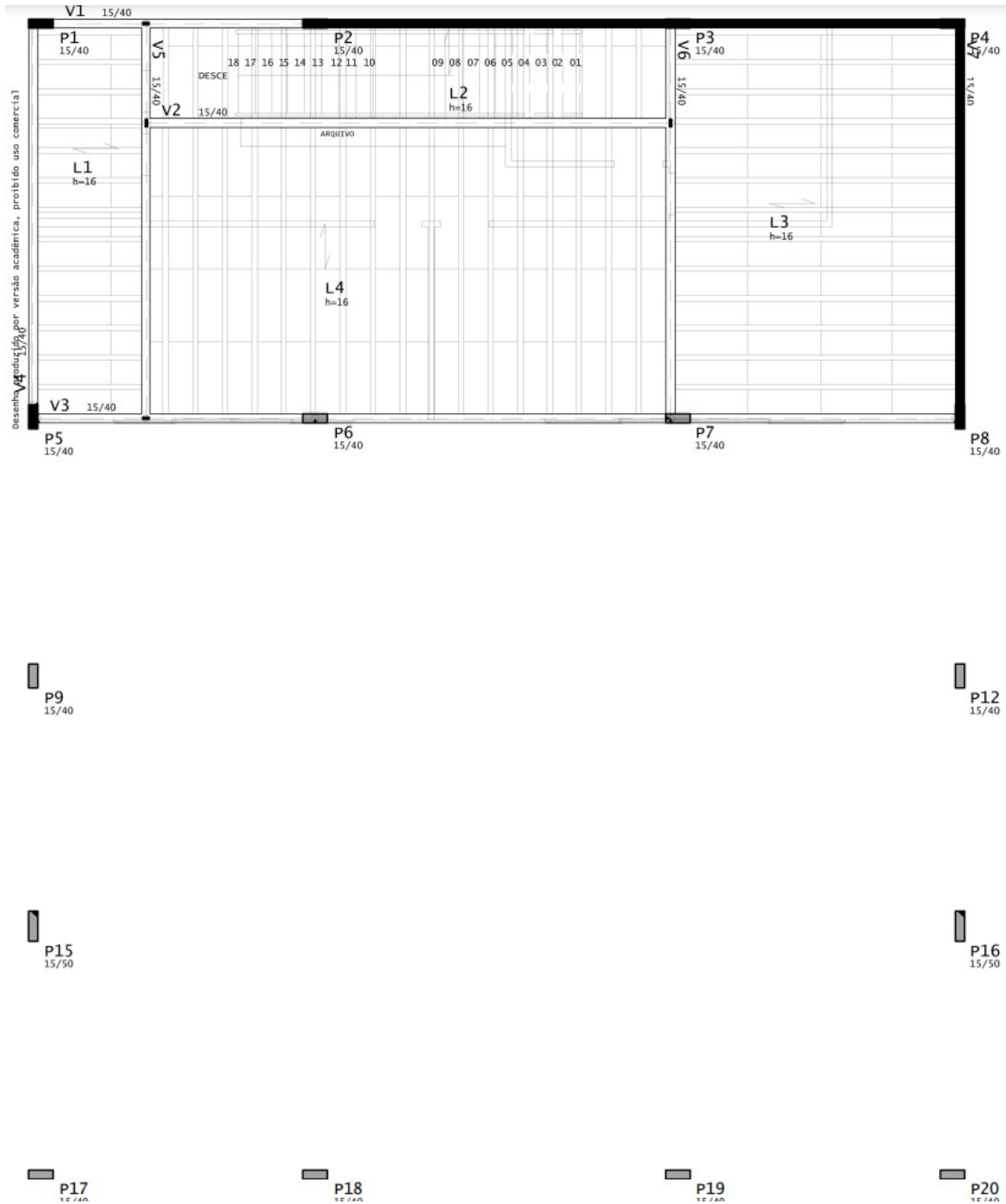


Figura 23: Planta de forma do pavimento superior em LPFT
 Fonte: Autoria própria.

Os outros pavimentos, que não possuem laje, mantiveram a mesma estrutura, podendo ser visualizado em três dimensões, conforme a figura 24.

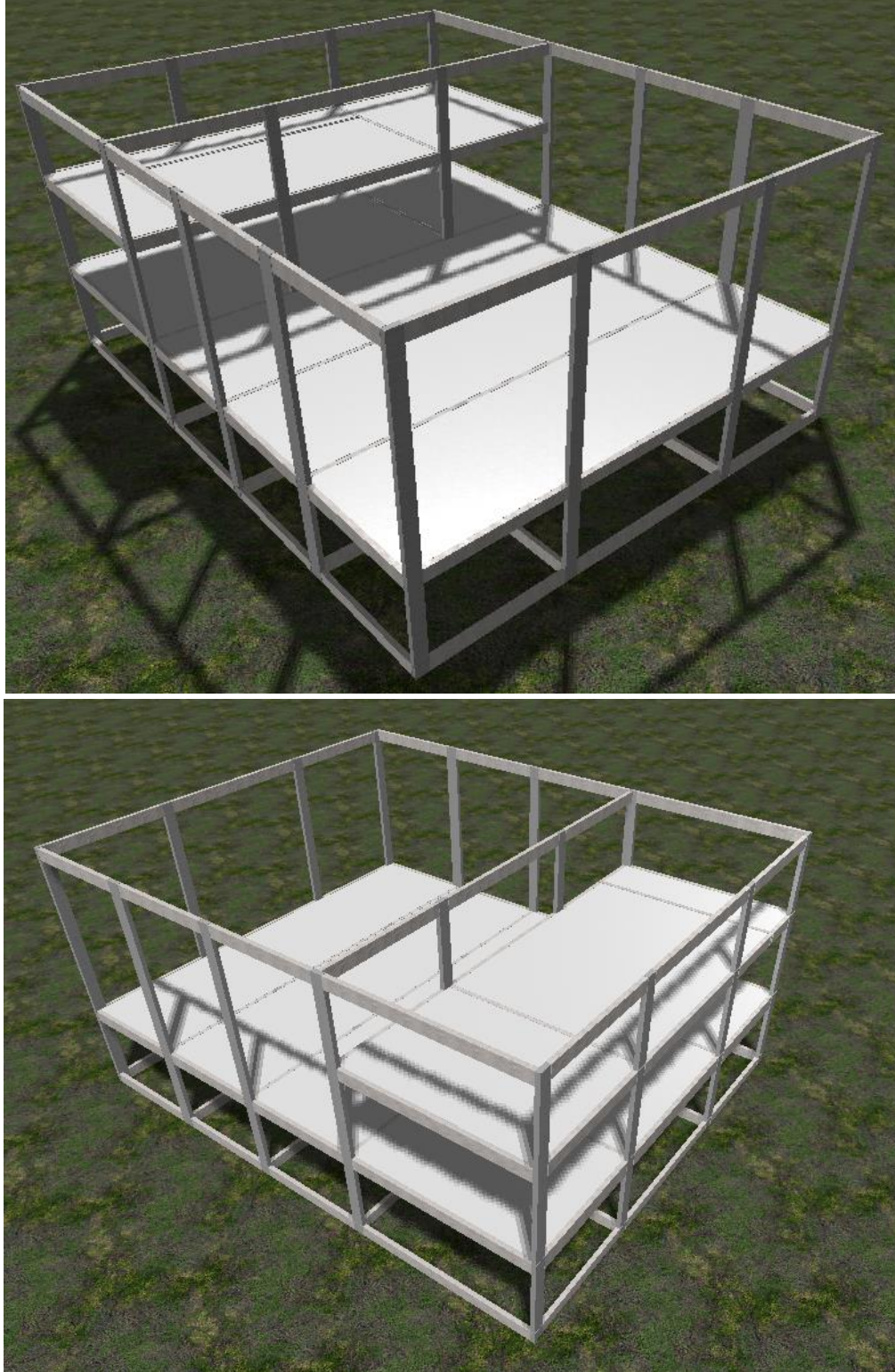


Figura 24: Visualização tridimensional do projeto com LPFT
Fonte: Autoria própria.

3.4 PARÂMETROS A SEREM COMPARADOS E TÉCNICAS UTILIZADAS PARA COMPARAÇÃO

Como o estudo possui o foco na região Sudoeste do Paraná, que contempla a cidade de Ampére – PR, e pela grande oscilação entre os custos em toda a construção civil no período em que vivenciamos, os valores dos materiais foram embasados no mercado regional, visando o mais próximo a realidade.

Primeiramente, foi destrinchado todo o material necessário para cada tipologia apresentada, com isso obtemos os seguintes itens:

- Laje Pré-Fabricada Protendida (LPFP): Vigotas; Blocos de EPS; Concreto usinado; Escoras.
- Laje Maciça Convencional (LMC): Concreto usinado; Aço CA-50 E CA-60; Formas; Escoras.
- Laje Pré-Fabricada Trelaçada (LPFT): Vigotas; Blocos de EPS; Concreto usinado; Telas soldadas; Escoras.

Após isso analisou-se cada projeto, a concepção estrutural adotada no estudo qual será executado, com LPFP, serviu como base para o cálculo. A partir dele calcularemos além do quantitativo das lajes em si, os materiais necessários para vigas e pilares adicionais presentes as outras alternativas.

Os custos dos materiais foram estipulados através de pesquisa na região do sudoeste do Paraná, adotando uma média entre três ou mais fontes de empresas especializadas em cada material consumido, presentes no Apêndice A. O nome das empresas não fora divulgado, afim de em nenhuma maneira serem prejudicadas, portanto utilizou-se nomenclatura genéricas, como Empresa A, Empresa B, etc.

4 LEVANTAMENTO DO QUANTITATIVO DE MATERIAIS E CUSTOS

4.1 QUANTITATIVO E CUSTOS DA LAJE PRÉ-FABRICADA PROTENDIDA (LPFP)

As vigotas pré-fabricadas protendidas e os blocos em EPS são orçados por m² de laje. Alguns fornecedores inclusive já fornecem o preço do conjunto vigotas + blocos de preenchimento. Para compor o preço neste estudo foram apresentados os valores de cada elemento separadamente.

O concreto considerado para a capa da laje, que neste caso é de 4 cm, foi o usinado com fck = 25 MPa, sendo o mesmo empregado nas demais soluções de laje. Seu quantitativo é em m³.

Quanto ao escoramento, considerou-se uma escora de eucalipto, de 2,8 m, a cada 3,0 m de laje, aproximadamente, valor retirado dos manuais dos fabricantes. Por ser uma área muito maior no primeiro pavimento, adotou-se apenas escoras para o mesmo, possibilitando a reutilização no pavimento mezanino.

Uma das características deste tipo de laje é não necessitar de forma, portanto, este item não foi quantificado para as LPFP.

A Tabela 1 apresenta o quantitativo e custos unitário e total para execução das lajes LPFP, bem como os subtotais de cada material utilizado.

Tabela 1: Quantitativo e custos da LPFP

Material	Quant.	Unid.	Preço Unit.	Preço Total
Vigotas Protendidas h16	385,30	m ²	R\$ 60,00	R\$ 23.118,00
Blocos EPS	385,30	m ²	R\$ 41,00	R\$ 15.797,30
Subtotal				R\$ 38.915,30
Concreto C25	24,66	m ³	R\$ 390,00	R\$ 9.617,40
Subtotal				R\$ 9.617,40
Escoras de Eucalipto 2,80m	54,00	un	R\$ 4,20	R\$ 226,80
Subtotal				R\$ 226,80
Total LPFP				R\$ 48.759,50

Fonte: Autoria própria.

Sendo assim, o custo total dos materiais para execução da laje pré-fabricada protendida (LPFP) é de R\$ 48.759,50.

4.2 QUANTITATIVO E CUSTOS DA LAJE MACIÇA EM CONCRETO ARMADO (LMC)

Para a laje maciça convencional, o dimensionamento foi gerado pelo software CAD/TQS v22 estudantil, seguindo os critérios presentes no referencial teórico. As bitolas de aço CA50 adotadas, afim de manter uma padronização, foram de 6,3 mm e 10 mm. Totalizaram 1579,14 kg e foram quantificadas em barras.

O concreto utilizado, assim como nos outros modelos, foi o usinado com $f_{ck} = 25$ MPa, orçado em m^3 .

Para esta solução de laje, são necessárias formas, que foram adotadas de chapas compensadas resinado em chapas de 1100 x 2200 x 17 mm, consideradas por m^2 de laje. Foram desconsiderados os pregos, acessórios metálicos e madeira serrada necessários para garantir a estanqueidade das mesmas.

Para o escoramento, utilizaram-se escoras de eucalipto com a altura conforme a altura do pavimento, espaçadas em 0,90 m. Considerou-se escoramento necessário apenas para o primeiro pavimento, pensando na reutilização das mesmas no mezanino.

A Tabela 2 apresenta o quantitativo e custos unitário e total para execução das lajes LMC, bem como os subtotais de cada material utilizado.

Tabela 2: Quantitativo e custos da LMC

Material	Quant.	Unid.	Preço Unit.	Preço Total
Aço CA-50 6.3mm	155,00	barras	R\$ 34,32	R\$ 5.319,60
Aço CA-50 10.0mm	124,00	barras	R\$ 76,12	R\$ 9.438,88
Subtotal				R\$ 14.758,48
Concreto C25	57,78	m^3	R\$ 390,00	R\$ 22.540,05
Subtotal				R\$ 22.540,05
Chapa Compensada 17mm	385,30	m^2	R\$ 43,00	R\$ 16.567,90
Subtotal				R\$ 16.567,90
Escoras de Eucalipto 2,80m	280,00	un	R\$ 4,20	R\$ 1.176,00
Subtotal				R\$ 1.176,00
Total LMC				R\$ 55.042,43

Fonte: Autoria própria.

Além do valor da laje, ao se adotar a solução em LMC, foi necessário a inserção de vigas e pilares adicionais, que não estavam dispostos no projeto com LPFP. Estes elementos estruturais foram dimensionados conforme o CAD/TQS e seu quantitativo de material, bem como valores unitários e totais podem ser observado na Tabela 3.

Tabela 3: Quantitativo e custos das estruturas adicionais na LMC

Elemento	Material		Quant.	Unidade	Preço (Un)	Preço Total
V03 V07 V08	CONCRETO	C25	3,48	m³	R\$ 390,00	R\$ 1.358,66
	CA-60	5mm	6	barras	R\$ 26,43	R\$ 158,58
	CA-50	8mm	1	barras	R\$ 54,34	R\$ 54,34
		10mm	3	barras	R\$ 77,00	R\$ 231,00
		12.5mm	4	barras	R\$ 122,63	R\$ 490,52
		16mm	5	barras	R\$ 201,45	R\$ 1.007,25
		20mm	20	barras	R\$ 314,95	R\$ 6.299,00
FORMAS	e=17mm	53,4175	m²	R\$ 43,00	R\$ 2.296,95	
SUBTOTAL						R\$ 11.896,30
P09	CONCRETO	C25	0,672	m³	R\$ 390,00	R\$ 262,08
P10	CA-60	5mm	8	barras	R\$ 26,43	R\$ 211,44
P11	CA-50	12.5mm	8	barras	R\$ 122,63	R\$ 981,04
P12	FORMAS	e=17mm	12,32	m²	R\$ 43,00	R\$ 529,76
SUBTOTAL						R\$ 1.984,32
TOTAL						R\$ 13.880,62

Fonte: Autoria própria.

O custo total dos materiais para a execução da laje maciça convencional, considerando aqueles usados na laje propriamente dita, bem como nos elementos estruturais que tiveram que ser adicionados, é de R\$ 68.923,06.

4.3 QUANTITATIVO E CUSTOS DA LAJE PRÉ-FABRICADA TRELIÇADA (LPFT)

Na consideração da solução em laje pré-fabricada treliçada orçou-se o conjunto vigotas e blocos de EPS pela área total de laje. Por se encontrar no mercado valores deste sistema com tudo incluso em alguns fornecedores e em outros valores discretizado, adotou-se afim de cálculo o valor separado da vigota e do bloco, como no caso da LPFP.

O concreto utilizado para a capa, que também é de 4cm, foi o usinado com fck = 25 MPa, o mesmo adotado nas demais soluções.

Apesar dos catálogos informarem que a linha de escoramento pode ser espaçada em até 1,50 m, através de contato com as empresas fornecedoras das escoras foi recomendada a distância de até 1,30 m, valor que foi utilizado para o dimensionamento, considerando também escoras de eucalipto de 2,8 m.

A Tabela 4 apresenta o quantitativo e custos unitário e total dos materiais para execução das lajes LPFT, bem como os subtotais de cada material utilizado.

Tabela 4: Quantitativo e custos da LPFT

Material	Quant.	Unid.	Preço Unit.	Preço Total
Vigotas h12	385,30	m ²	R\$ 50,00	R\$ 19.265,00
Blocos EPS	385,30	m ²	R\$ 27,00	R\$ 10.403,10
Subtotal				R\$ 29.668,10
Concreto C25	24,27	m ³	R\$ 390,00	R\$ 9.465,30
Subtotal				R\$ 9.465,30
Escoras de Eucalipto 2,80m	148,00	un	R\$ 4,20	R\$ 621,60
Subtotal				R\$ 621,60
Malha Q75 3.4mm	374,00	m ²	R\$ 24,67	R\$ 9.226,58
Subtotal				R\$ 9.226,58
Total LPFT				R\$ 48.981,58

Fonte: Autoria própria.

Na tabela 5 temos o quantitativo e custo dos componentes estruturais adicionais P09, P10, P11, P12, V3 e V7.

Tabela 5: Quantitativos e custos das estruturas adicionais na LPFT

Elemento	Material		Quant.	Unidade	Preço (Un)	Preço Total
V03 V07	CONCRETO	C25	1,5165	m ³	R\$ 390,00	R\$ 591,44
	CA-60	5mm	16	barras	R\$ 26,43	R\$ 422,88
	CA-50	8mm	1	barras	R\$ 54,34	R\$ 54,34
		10mm	3	barras	R\$ 77,00	R\$ 231,00
		12.5mm	2	barras	R\$ 122,63	R\$ 245,26
		16mm	1	barras	R\$ 201,45	R\$ 201,45
	20mm	3	barras	R\$ 314,95	R\$ 944,85	
FORMAS	e=17mm	23,45	m ²	R\$ 43,00	R\$ 1.008,35	
SUBTOTAL						R\$ 3.669,57
P09	CONCRETO	C25	0,672	m ³	R\$ 390,00	R\$ 262,08
P10	CA-60	5mm	8	barras	R\$ 26,43	R\$ 211,44
P11	CA-50	12.5mm	8	barras	R\$ 122,63	R\$ 981,04
P12	FORMAS	e=17mm	12,32	m ²	R\$ 43,00	R\$ 529,76
SUBTOTAL						R\$ 1.984,32
TOTAL						R\$ 5.653,89

Fonte: Autoria própria.

O custo total de materiais compondo a laje pré-fabricada treliçada é de R\$ 54.635,47

5 ANÁLISE E RESULTADOS

Através dos dados obtidos no item 4, percebe-se que a solução empregada com menor custo é a com o uso das vigotas protendidas, figura 25.

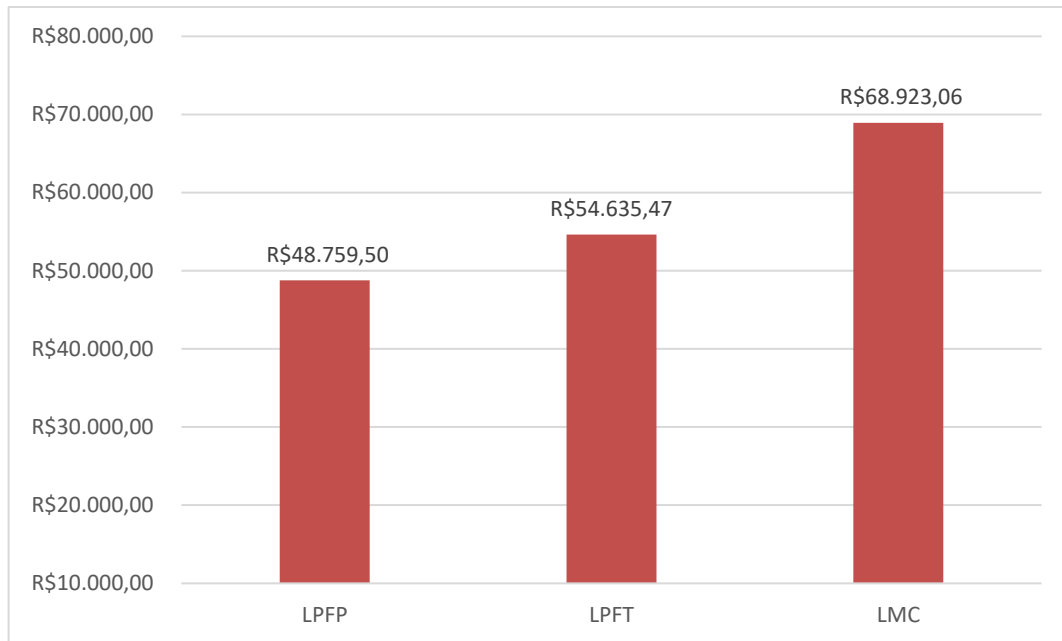


Figura 25: Gráfico – Custos totais dos materiais nas lajes propostas
Fonte: Autoria própria.

Analisando-se estes dados, tem-se que o custo dos materiais empregados neste projeto com a utilização da laje maciça convencional, torna-se até aproximadamente 29,25% menos rentável se comparando com a laje pré-fabricada protendida e 20,99% em relação a pré-fabricada treliçada. Este valor já era previamente esperado, onde um dos principais motivos, além da existência de novos elementos estruturais, é o alto consumo de escoras e formas, que em uma obra com poucos pavimentos acaba não sendo muito recomendada, pois este valor agrega muito ao total, diferentemente de edifícios com muitas repetições, onde é possível se reutilizar estes materiais. Como pode-se verificar na figura 26, este custo das formas acaba sendo um ponto crítico para o elevado valor deste sistema em relação aos demais.

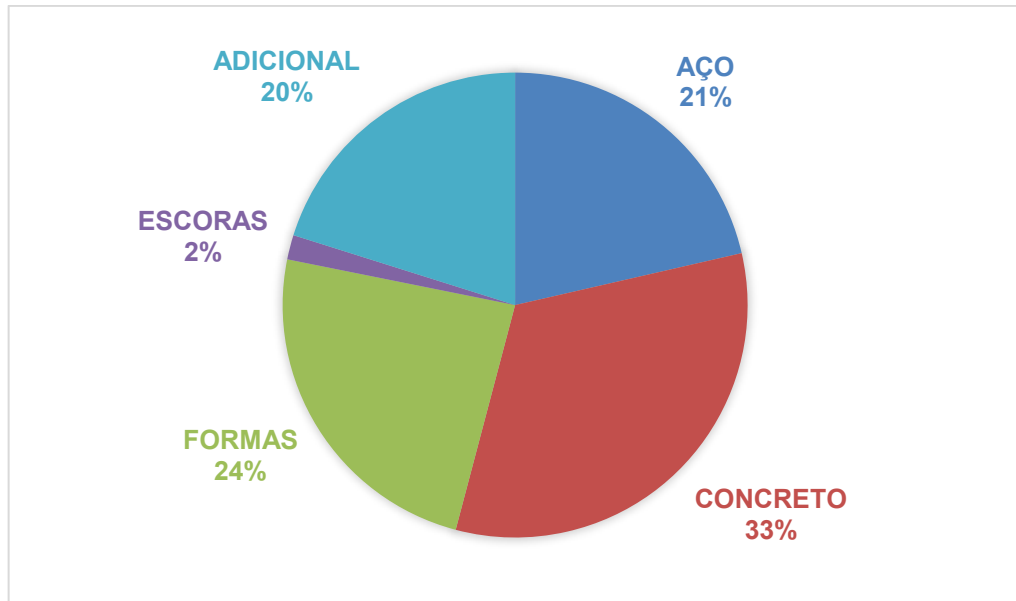


Figura 26: Gráfico – Custo percentual de cada elemento na LMC
Fonte: Autoria própria.

Nota-se uma maior proximidade quanto aos custos dos materiais entre os dois modelos pré-fabricados, onde a laje em concreto armado é aproximadamente 9,0% mais cara que a protendida. Por serem sistemas muito similares quanto aos seus elementos e sua execução, pode-se fazer um comparativo mais detalhado entre estes dois sistemas.

Nas figuras 27 e 28, pode-se observar a relação entre os elementos dispostos em cada projeto.

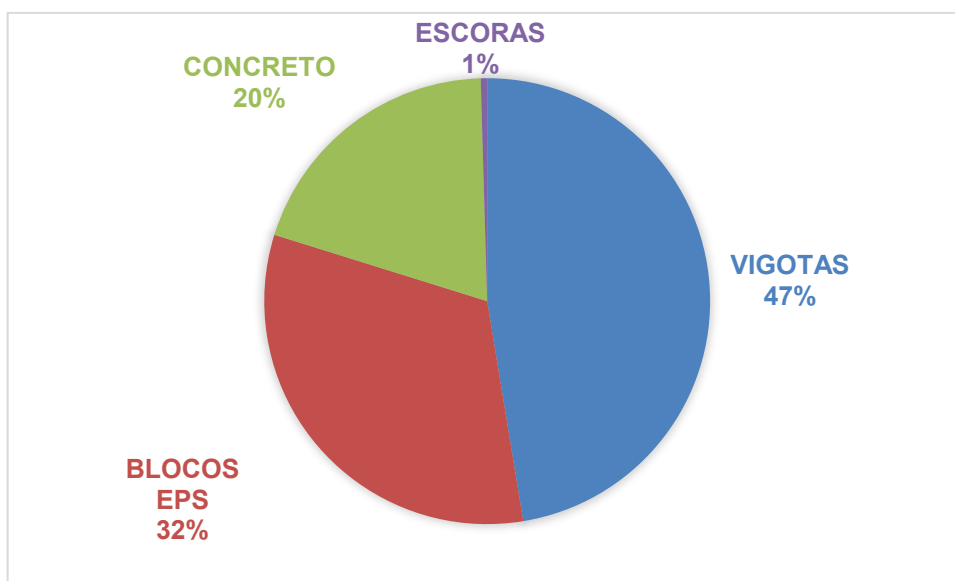


Figura 27: Gráfico – Custo percentual de cada elemento na LPFP
Fonte: Autoria própria.

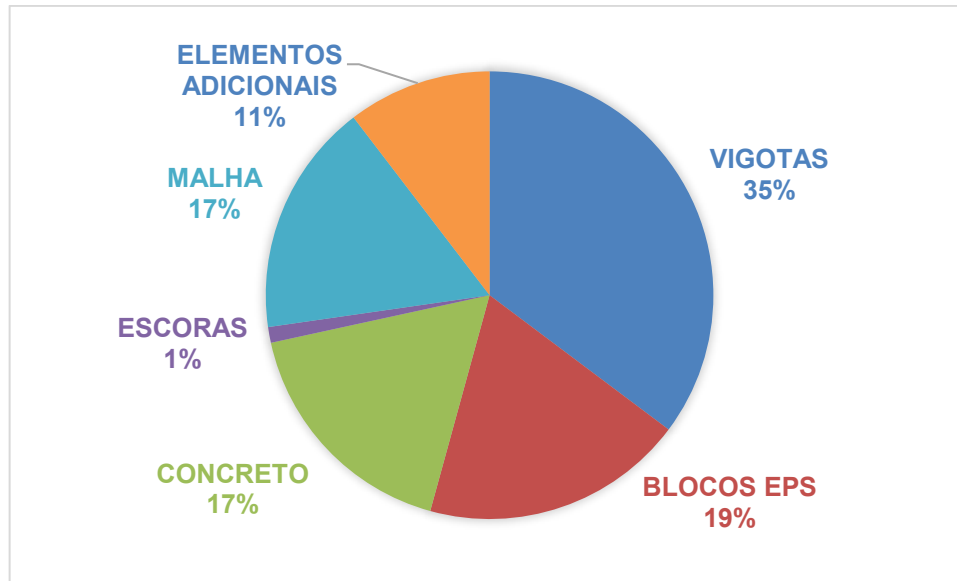


Figura 28: Gráfico – Custo percentual de cada elemento na LPFT
Fonte: Autoria própria.

Os estudos e catálogos disponíveis de fornecedores não especificam a necessidade de uma armadura adicional na LPFP, diferentemente da LPFT, o que acaba tendo grande relevância em relação ao custo total do sistema. Outro item importante é a necessidade dos pilares e das vigas adicionais no sistema em concreto armado, que representaram cerca de 11,0% do valor total do custo da laje. Sem a necessidade destes elementos estruturais, os valores dos demais materiais presentes em ambas as lajes pré-fabricadas possuem grande proximidade, figura 29.

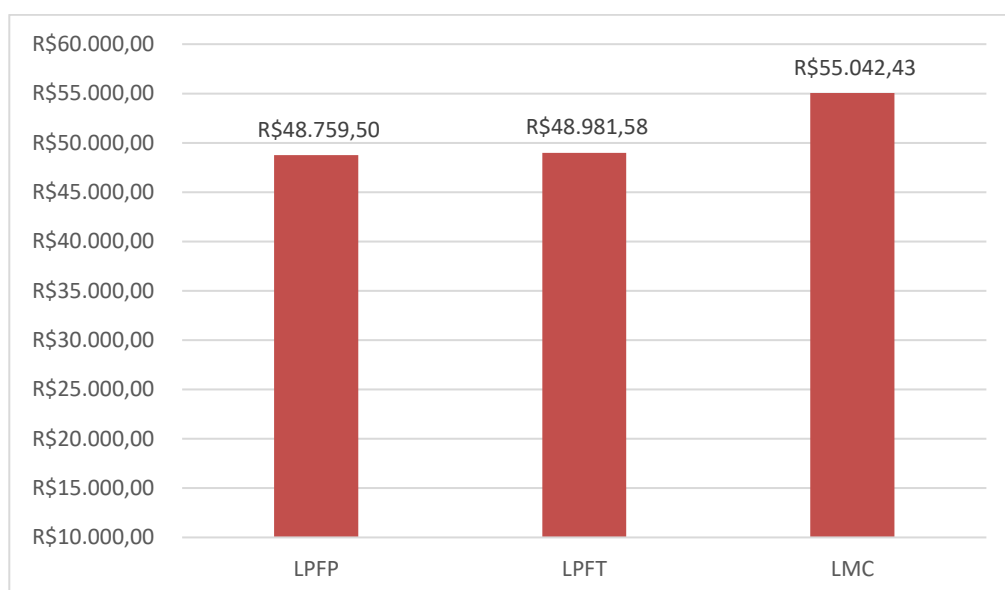


Figura 29: Gráfico – Custos sem adicionais dos materiais nas lajes propostas
Fonte: Autoria própria.

Na figura 30, é apresentada a relação direta entre os custos de cada material existente em ambas as lajes pré-fabricadas, excluindo-se os elementos adicionais.

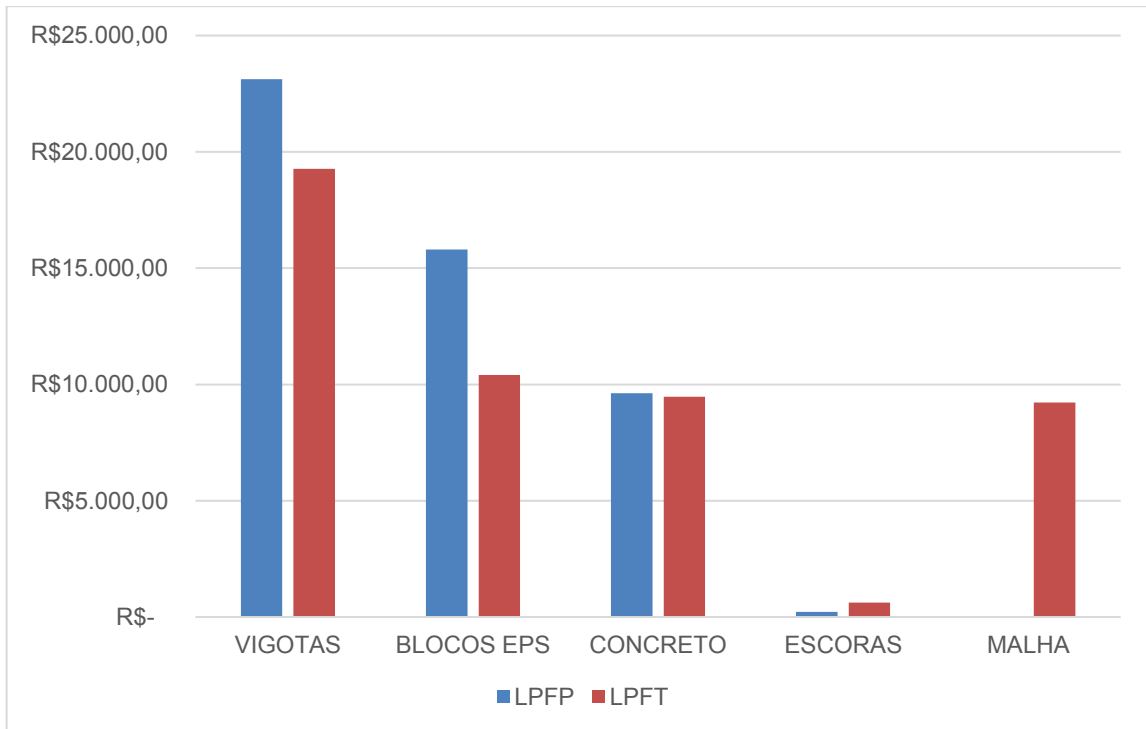


Figura 30: Gráfico – Custos por material nos modelos pré-fabricados
Fonte: Autoria própria.

Comparando-se material por material dentre as lajes pré-fabricadas, tem-se um custo maior das vigotas e dos blocos no modelo pretendido. Um dos motivos disso, tem relação com as dimensões: enquanto na LPFP utilizaram-se vigotas com altura de 16 cm, na LPFT foram de 12 cm. Esta diferença entre as alturas foi necessária para uma comparação mais similar em relação aos custos. Como as vigotas h16 foram as de menor valor possível para atender aos vãos necessários, pensou-se em utilizar na opção treliçada a mesma altura, entretanto, após um prévio dimensionamento e cálculo realizado pelo software notou-se um valor muito acima da opção com vigotas h12.

O volume de concreto utilizado em ambas soluções de laje tende a ser muito similar, pela capa ser da mesma altura, a diferença se deu possivelmente devido ao cálculo ser feito de uma forma na laje protendia, utilizando-se os catálogos das

indústrias de vigotas, enquanto que na laje treliçada foram adotados os valores quantificados pelo software.

A quantidade de escoras acaba tendo uma grande diferença, a LPFP possui aproximadamente um terço do escoramento necessário na LPFT. Apesar desse número tão menor, o valor delas é quase desprezível, representando menos de 1% em cada sistema. Um dos motivos também é por estar se utilizando neste estudo escoramentos de madeira, que possuem um custo menor em relação ao metálico, mas uma maior perda e menos possibilidade de reutilização.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Nitidamente, faz-se cada vez mais necessária a busca por novas tecnologias, visando a economia e redução de resíduos, sem que haja uma redução de qualidade. Conforme apresentado neste trabalho, o sistema adotado de laje com a utilização de vigotas pré-fabricadas protendidas possui muitas vantagens em relação às opções em concreto armado, tanto maciça, quanto com vigotas treliçadas. Dentre elas, salientam-se o alcance de vãos maiores, gerando melhores soluções arquitetônicas, bem como, moderando o peso em toda a estrutura por intermédio da diminuição de elementos estruturais, além da drástica redução do emprego de madeira em uma obra.

Apesar de algumas limitações quanto ao software, principalmente devido as restrições de detalhamentos quanto a versão estudantil, foi possível projetar e avaliar as vantagens econômicas do material através da análise dos modelos propostos. Para este estudo de caso, os gráficos de custos possibilitaram apurar que o sistema de LPFP apresenta uma redução de até aproximadamente 30% quanto a opção em LMC, e 11% comparando com a outra solução pré-fabricada, esta treliçada.

Pela similaridade de execução e de componentes, realizou-se a comparação diretamente entre os sistemas pré-fabricados. Neste tocante, foi possível verificar valores muito próximos um ao outro, quando comparamos os custos apenas do metro quadrado de cada laje, sendo essa diferença menor do que 1% do custo da laje.

Entretanto, não se deve embasar somente pelo valor unitário da laje, mas sim pelo custo de toda a estrutura, incluindo os elementos estruturais adicionais necessários para suportar os vãos e esforços, os quais eram dispensáveis no sistema com vigotas protendidas. Cumpre-se destacar que, para tal economia, o projeto estrutural já deve contemplar a opção das vigotas protendidas quanto a sua concepção.

É de suma importância frisar que cabe ao profissional de engenharia responsável pelo projeto estrutural a orientação quanto a possibilidade de uso de novas tecnologias. Dessa forma, espera-se que esse estudo possa vir a auxiliar na inserção de novas técnicas de maneira recorrente nas construções brasileiras, além de contribuir no desenvolvimento de pesquisas posteriores.

Logo, partindo do mesmo princípio que visa tornar a LPFP cada vez mais presente no mercado, como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se fazer o

estudo do custo de mão-de-obra para a execução de cada tipo de laje. Além disso, outra proposta para enriquecer o conhecimento a respeito dessa temática, seria uma comparação relacionada a estruturas de fundações geradas pela diferença de peso concebidas por cada sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ABNT. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT. **NBR 8681**: Ações e seguranças nas estruturas – Procedimento, Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. **NBR 14859**: Laje pré-fabricada - Requisitos. Rio de Janeiro, 2002.

ARAÚJO, J.M. **Avaliação do parâmetro de instabilidade para os edifícios altos**, Ed. Dunas, Rio Grande, 2010.

AVILA, Antônio Vitorino; LIBRELOTTO, Liziane Ilha; LOPES, Oscar Ciro. **Orçamento de Obras, construção Civil**. Florianópolis: Universidade do sul de Santa Catarina, 2003.

ALBUQUERQUE, Augusto Teixeira de. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. 1999. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

ALBUQUERQUE, Augusto Teixeira de; PINHEIRO, Libanio Miranda. Viabilidade econômica de alternativas estruturais de concreto armado para edifícios. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 1, n. 19, p. 1-19, 2002.

ARCELLOR MITAL. **Manual Técnico de Lajes Treliçadas**. online. disponível em: <http://rangellage.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Manual-Lajes-Treli%C3%A7adas.pdf>. acesso em: 06. abr. 2021

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 3ed. 4reimpressão. São Carlos: Ed. UFCar, 2012.

CARVALHO, Roberto Chust.; PINHEIRO, Libanio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. vol2. São Paulo: PINI, 2009.

CARVALHO, Roberto Chust. **Estruturas em concreto protendido: pré-tração, pós-tração, cálculo e detalhamento**. São Carlos: Pini, 2012.

CATÁLOGO BELGA, **Manual Técnico de Lajes Treliçada**. Rio de Janeiro, 2002.

CECHINEL, Marcelo. **Apostila de Concreto Protendido**. Palhoça: UNISUL, 2016

CHAVES, Roberto. **Manual do construtor**: para engenheiros, mestres de obras e profissionais de construção em geral. 2012. 326 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CUNHA, Mateus Ortigosa. **Recomendações para projetos formados por vigotas com armação Treliçada**. 2012. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-25092012-083340/publico/2012ME_MateusOrtigosaCunha.pdf. Acesso em: 06 abr. 2021.

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

ELLIOTT, Kim S. **Precast Concrete Structures**. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2002.

FRANCA, A.B.M; FUSCO, P.B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios**. São Paulo, AFALA E ABRAPEX, 1997.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Técnicas de pesquisa social**. Editora Atlas S.A. 2008.

GIONGO, José Samuel. **Concreto armado: Projeto estrutural de edifícios. Apostila** – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007

MEDRANO, M. L. O.; FIGUEIREDO FILHO, J. R.; CARVALHO, R. C. **Estudo de pavimentos de lajes formados por vigotas pré-moldadas: influência de nervuras transversais**. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado, São Carlos, 2005.

PINHEIRO, Libanio Miranda; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. **Concepção Estrutural. In Fundamentos do Concreto e Projeto de edifícios**. 2007. Disponível em: http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec802/Lancamento/Concepcao_EESC.pdf. acesso em: 06. abr. 2021.

REVEL, M. **La prefabricación em la construcción**. 1 ed. Bilbao: Urmo, 1973

SILVA, Marcos Alberto Ferreira da. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios**. 2005. 239 f. Dissertação (Mestrado) - Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

TATU. **Lajes pré-fabricadas protendidas**. Online. 2017. Disponível em: http://www.tatu.com.br/pdf_novo/vigotas-utilizacao_das_tabelas_de_lajes_protendidas.pdf. acesso em: 06. abr. 2021

VERÍSSIMO, Gustavo de Souza; CÉSAR JUNIOR, Kléos M Lenz. **Concreto protendido. 4. ed.** Viçosa: Ufv, 1998.

APENDICÊ A – CUSTOS DOS MATERIAIS

ITEM		Unidade	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Média
AÇO CA60	5.0mm	Barra	R\$ 25,93	R\$ 26,73	R\$ 26,63	R\$ 26,43
AÇO CA50	6.3mm	Barra	R\$ 33,82	R\$ 34,62	R\$ 34,52	R\$ 34,32
	8.0mm	Barra	R\$ 53,84	R\$ 54,64	R\$ 54,54	R\$ 54,34
	10.0mm	Barra	R\$ 74,50	R\$ 77,30	R\$ 79,20	R\$ 77,00
	12.5mm	Barra	R\$ 119,13	R\$ 122,93	R\$ 125,83	R\$ 122,63
	16.0mm	Barra	R\$ 196,95	R\$ 201,75	R\$ 205,65	R\$ 201,45
	20.0mm	Barra	R\$ 309,45	R\$ 315,25	R\$ 320,15	R\$ 314,95
MALHA Q75	3.4mm	m ²	R\$ 350,00	R\$ 411,00	R\$ 361,00	R\$ 374,00
CONCRETO	C25	m ³	R\$ 385,00	R\$ 385,00	R\$ 400,00	R\$ 390,00
FORMAS	Chapas compensadas 17mm	m ²	R\$ 120,00	R\$ 108,00	R\$ 111,00	R\$ 113,00
ESCORAS	Eucalipto	m	R\$ 4,20	R\$ 4,20	-	R\$ 4,20
VIGOTAS	Treliçadas h12	m ²	R\$ 55,00	R\$ 48,00	R\$ 47,00	R\$ 50,00
	Protendidas h16	m ²	R\$ 68,00	R\$ 55,00	R\$ 57,00	R\$ 60,00
EPS	h12	m ²	R\$ 27,00	R\$ 31,00	R\$ 24,00	R\$ 27,33
	h16	m ²	R\$ 40,00	R\$ 39,00	R\$ 44,00	R\$ 41,00