

COMPARAÇÃO ENTRE A QUANTIDADE DE MATERIAL UTILIZADO NA EXECUÇÃO DE UMA LAJE COM VIGOTAS PROTENDIDAS E VIGOTAS TRELIÇADAS

ZANINI, Lincoln Kassios¹
PORTELINHA, Raul Comar²
BRESSAN, Rodrigo Techio³

RESUMO: Com a constante evolução da construção civil, os processos construtivos também evoluíram, com construções duráveis, econômicas e estruturalmente seguras. A industrialização dos processos construtivos surge, entre outras soluções, como resposta a estes e outros diversos quesitos, e traz como alternativa o concreto armado pré-moldado. Este trabalho visa comparar as quantidades de concreto, escoras e aço que influenciam diretamente na execução do projeto de uma laje, seja ela executada com o sistema de vigotas pré-moldadas protendidas ou com vigotas pré-moldadas treliçadas. Para a obtenção dos dados foram realizados levantamentos quantitativos de materiais necessários para a execução da laje e em seguida foram elaborados gráficos e tabelas comparativas utilizando planilhas do Excel. Observando os resultados obtidos, o sistema construtivo de vigotas pré-moldadas protendidas apresentou o melhor desempenho no que tange à quantidade de material utilizado, apresentando uma redução de 27,45% de concreto em relação à laje executada com vigota pré-moldada treliçada, enquanto, na análise quantitativa da utilização de aço, a economia de material atinge 110,80% quando comparada a laje pré-moldada protendida com a laje pré-moldada treliçada e no que diz respeito das escoras, torna-se notório a diferença de quantidade de material, visto que a laje executada com vigotas pré-moldadas protendidas prescinde completamente de sua utilização, em contrapartida à necessidade de escoras nas vigotas pré-moldadas treliçadas, resultando em uma economia integral de 100% nesse aspecto. De modo geral, é evidente a redução de consumo de material alcançada ao optar pelas vigotas pré-moldadas protendidas, abrangendo todos os critérios sob análise.

Palavras-chave: construção civil, engenharia, pré-moldados, métodos construtivos.

1. INTRODUÇÃO

Com a constante evolução da construção civil, os processos construtivos também evoluíram, com construções duráveis, econômicas e estruturalmente seguras. A industrialização

¹Lincoln Kassios Zanini, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: lkzanini@minha.fag.edu.br.

²Raul Comar Portelinha, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: rportelinha@minha.fag.edu.br.

³Rodrigo Techio Bressan, Mestre, Engenheiro civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR.

dos processos construtivos surge, entre outras soluções, como resposta a estes diversos quesitos, e traz como alternativa o concreto armado pré-moldado (SILVA, 2018).

Segundo Pinheiro, Muzardo e Santos (2007), no início do século, o sistema de lajes pré-moldadas treliçadas, era pouco conhecido e utilizado, pois não existia grande quantidade de fontes confiáveis para se aprofundar sobre o assunto, somente catálogos, que informavam de uma maneira geral os procedimentos utilizados durante a execução. Aos poucos isso veio sofrendo mudanças, com estudos e pesquisas sobre os modelos de pré-fabricação.

A utilização desses elementos pré-moldados elimina a execução de formas e reduz consideravelmente o número de escoramentos necessários na execução de uma laje, resultando em uma melhor economia de materiais e aumento da produtividade (SILVA, 2018).

Segundo Silva (2018), entre os tipos de vigotas pré-moldadas, destacam-se as vigotas treliçadas e as vigotas protendidas. Cada um dos tipos de vigotas apresenta suas vantagens ao projeto estrutural. As lajes com vigotas treliçadas têm como benefício a melhor monoliticidade do sistema, bem como a possibilidade de execução de nervuras transversais e de torná-la bidirecional. Já as vigotas protendidas proporcionam ao sistema um melhor combate às deformações, o que se torna um importante critério, tendo-se em vista o problema que as flechas de lajes pré-moldadas representam em um projeto.

A laje é um dos elementos que interferem significativamente o custo de uma obra, no entanto, não se dá a atenção necessária na escolha do melhor método executivo a ser adotado. Portanto, é necessário analisar cuidadosamente a escolha a fim de otimizar os custos. Compreender o impacto desta escolha é crucial, pois terá influência direta no orçamento geral da obra.

Assim, é fundamental alocar tempo e recursos suficientes para uma avaliação criteriosa, considerando fatores como complexidade estrutural, disponibilidade de materiais, mão de obra especializada e tecnologias construtivas disponíveis. Somente por meio dessa análise criteriosa, decisões estratégicas podem ser tomadas para otimizar os custos do projeto sem comprometer a qualidade e a segurança da estrutura.

O estudo foi limitado ao levantamento de quantitativo de materiais de dois métodos construtivos para execução de laje, sendo vigotas protendidas e vigotas treliçadas, cujos quantitativos foram comparados. O estudo foi conduzido com base em um projeto residencial executado na cidade de Cascavel - Paraná, analisando as quantidades de concreto, escoras e aço, que foram utilizados durante a execução das lajes.

Para tanto, a pergunta respondida com a realização dessa pesquisa foi a seguinte: Qual sistema estrutural vigotas protendidas ou vigotas treliçadas utiliza menor quantidade de material na execução da laje?

De acordo com todas as informações expostas anteriormente, este trabalho tem como objetivo geral comparar as quantidades de concreto, escoras e aço que influenciam diretamente na execução de uma laje, seja ela executada com o sistema de vigotas pré-moldadas protendidas ou com vigotas pré-moldadas treliçadas.

Salienta-se que para este trabalho científico pudesse ter pleno êxito, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- a) Caracterizar as vigotas protendidas e treliçadas em relação aos métodos construtivos.
- b) Analisar um projeto residencial dimensionado considerando vigotas protendidas e considerando vigotas treliçadas;
- c) Analisar o consumo de materiais (concreto, aço e escoramento) considerando qual método é o mais apropriado para a execução da laje.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo foi abordado o conceito de vigotas treliçadas e protendidas, discutindo o processo de produção das mesmas, de como são compostas, e de todos os elementos necessários para a execução da laje com esse elemento.

2.1 LAJES

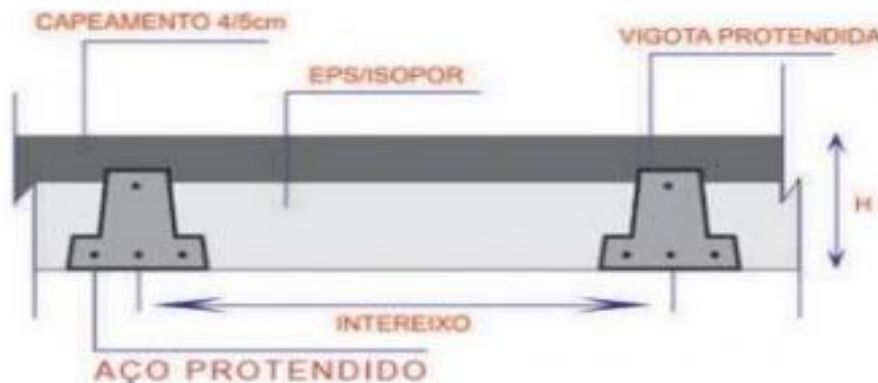
Segundo Bastos (2015), lajes são classificadas como elementos planos bidimensionais, sendo aquelas onde duas dimensões, o comprimento e a largura, são da mesma ordem de grandeza, porém sua espessura é muito menor. As lajes são também chamadas elementos de superfície, ou placas. Recebem a maioria das forças aplicadas de uma construção, normalmente de pessoas, móveis, pisos, alvenaria, entre outras. As ações são comumente perpendiculares ao plano da laje, podendo ser divididas em distribuídas, distribuídas linearmente ou concentradas.

2.2 VIGOTA PROTENDIDA

Segundo a NBR 14859-1 (ABNT, 2016), as lajes pré-fabricadas protendidas são compostas por cabos de aço tensionados e concreto (vigotas) e elementos de enchimento

(lajotas) que podem ser de cerâmica ou Polietileno expandido (EPS). Após a montagem das vigotas com os elementos de enchimento e a armadura de distribuição, complementam-se as vigotas protendidas e lajotas de cerâmica ou isopor com o concreto de capeamento da laje (Figura 1).

Figura 1: Laje executada com vigotas protendida.



Fonte: Vibrom (2020).

Segundo Bonafé (2018), o aço das vigotas protendidas passa pelo processo de protensão. Essa técnica tensiona os cabos e cordoalhas da armadura por meio de uma ação externa com macacos hidráulicos, garantindo assim esforços de tração permanente ao aço e maior compressão ao concreto.

Pela definição da NBR 14859-1 (ABNT, 2016), vigotas de concreto protendido possuem seção de concreto formando um T invertido, com armadura pré-tensionada, totalmente envolvida pelo concreto.

O desenvolvimento da tecnologia de protensão, constitui-se em um dos mais importantes avanços no campo da engenharia estrutural. Este método construtivo proporciona liberdade arquitetônica, vãos maiores, flexibilidade, ambientes amplos e livre de pilares, entre outros. A protensão promove a melhora da qualidade estrutural (EMERICK, 2002).

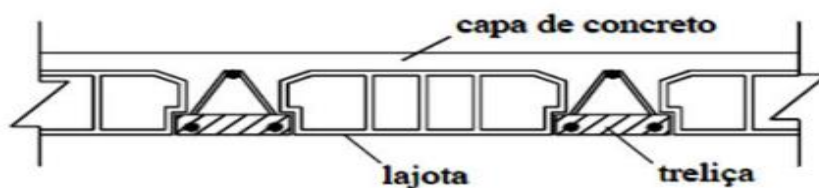
As lajes protendidas pré-fabricadas podem ser classificadas em três tipos, com vigotas protendidas, painel alveolar e em duplo T (CARVALHO, 2012).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) vários fatores devem ser considerados se realizar o dimensionamento de uma laje, entre eles podemos citar o vão efetivo, tipo de vinculação, cobrimento mínimo, armadura, concreto e ações consideradas.

2.3 VIGOTA TRELIÇADA

Pela definição da NBR 14859-1 (ABNT, 2016), vigotas treliçadas possuem seção de concreto formando uma placa (Figura 2), com armadura treliçada parcialmente envoltas pelo concreto. Lajes com vigotas treliçadas costumam serem chamadas de lajes treliçadas. A armação da laje treliçada, como a própria denominação sugere, é formada por uma treliça, constituída por duas barras de aço paralelas na base, denominadas de banzos inferiores, e uma barra de aço no topo, denominada banzo superior, interligadas por duas barras de aço diagonais, denominadas de sinusóides (Figura 3) (FERREIRA, 2017).

Figura 2: Laje executada com vigota treliçada.

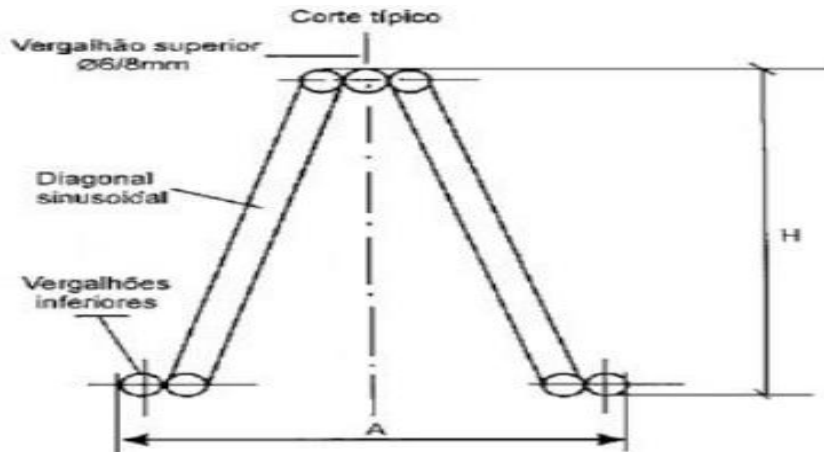


Fonte: Merlin (2002).

Segundo a NBR 14859-3 (ABNT, 2016), o código de classificação e alturas padronizadas são compostas por sequências numéricas após a sigla TR, sendo, em ordem: altura da treliça; bitola do banzo superior; bitola das diagonais; bitola do banzo inferior.

Podem ser utilizadas em qualquer tipo de projeto, entretanto são muito utilizadas em construções habitacionais e comerciais, principalmente de pequeno porte, proporcionando uma agilidade na execução e andamento da obra, bem como diminuição nas etapas de produção e otimização da mão de obra, além da facilidade de execução (FERREIRA, 2017).

Figura 3: Armadura da vigota treliçada.

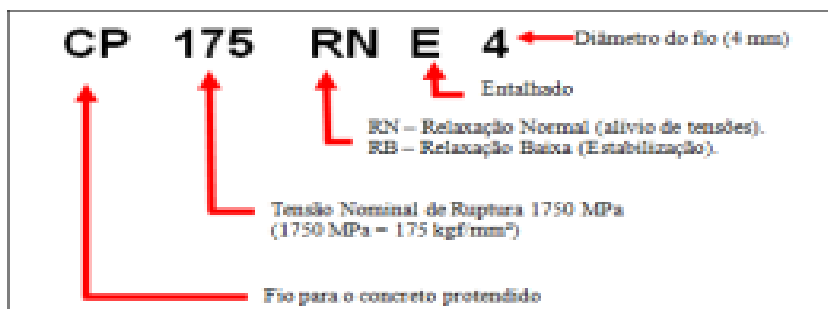


Fonte: Ferreira (2016).

2.4 FIOS DE PROTENSÃO

Diferente do aço utilizado no concreto armado (CA), o aço utilizado para protensão é um aço específico próprio para protensão com nomenclatura diferente do concreto armado (Figura 4). Os aços carbono são fios submetidos a processos de tratamento térmico após o seu encruamento a frio por trefilação. O material, após decaagem em banho de ácido, é trefilado em fieiras ao diâmetro desejado, por uma ou mais passagens. Para alívio de tensões reaquece e resfria se rapidamente o fio, em banho de chumbo líquido para não perder o encruamento (FREITAS, Junior, 2013).

Figura 4: Nomenclatura aço utilizado para protensão.



Fonte: Junior Freitas (2013).

2.5 PROTENSÃO DO AÇO

Segundo Cholf e Bonilha (2018), o processo de protensão consiste no posicionamento prévio de cabos de aço na estrutura a ser protendida. Esses cabos são tensionados, dentro do

seu limite elástico, por meio de macacos hidráulicos até atingir a força determinada em projeto. Por fim, são travados em ancoragens. Quando esses cabos são cortados nas extremidades, eles tendem a voltar para o seu estado inicial. Desse modo, eles aplicam tensões no concreto, a aplicação das trações nos cabos pode ser feita por pré-tração ou pós-tração.

Os mesmos autores anteriormente citados afirmam que a pré-tração é mais utilizada em peças de concreto pré-moldado, já que nela o aço é tracionado antes do lançamento do concreto. O processo, nesse caso, consiste em tracionar os cabos nas pistas até a tensão desejada. Com os cabos já tracionados, o concreto é lançado na forma. Após o concreto atingir a resistência desejada, os cabos são cortados, enquanto a pós-tensão é o método bastante utilizado em outros métodos construtivos. Nesse caso, o concreto já está em um determinado nível de cura quando os cabos pré posicionados são tensionados.

2.6 ESCORAMENTOS

De acordo com que define a norma NBR 1596 (ABNT, 2009), escoramentos são estruturas provisórias sendo de metal ou madeira com capacidade de resistir e transmitir às bases de apoio da estrutura do escoramento todas as ações provenientes das cargas permanentes e variáveis resultantes do lançamento do concreto fresco sobre as formas ou vigotas pré-moldadas, até que o concreto se torne autoportante.

2.7 RELAÇÃO COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS

Segundo Silva (2005), quando comparadas as lajes nervuradas de concreto armado com as lajes de concreto protendido, observou-se que a fabricação das vigotas de concreto protendo é mais complexa e consequentemente encontra-se menos fabricantes com a mão de obra qualificada, elevando assim o seu valor comparada com a fabricação das lajes pré-moldadas de concreto armado, porem em determinados projetos pode ser vantajosa a utilização do concreto protendido, devido a sua maior resistência e consequentemente economizar ou até isenção de escoramentos dependendo da dimensão do vão, consumo concreto e aço para a execução dos mesmos.

3. METODOLOGIA

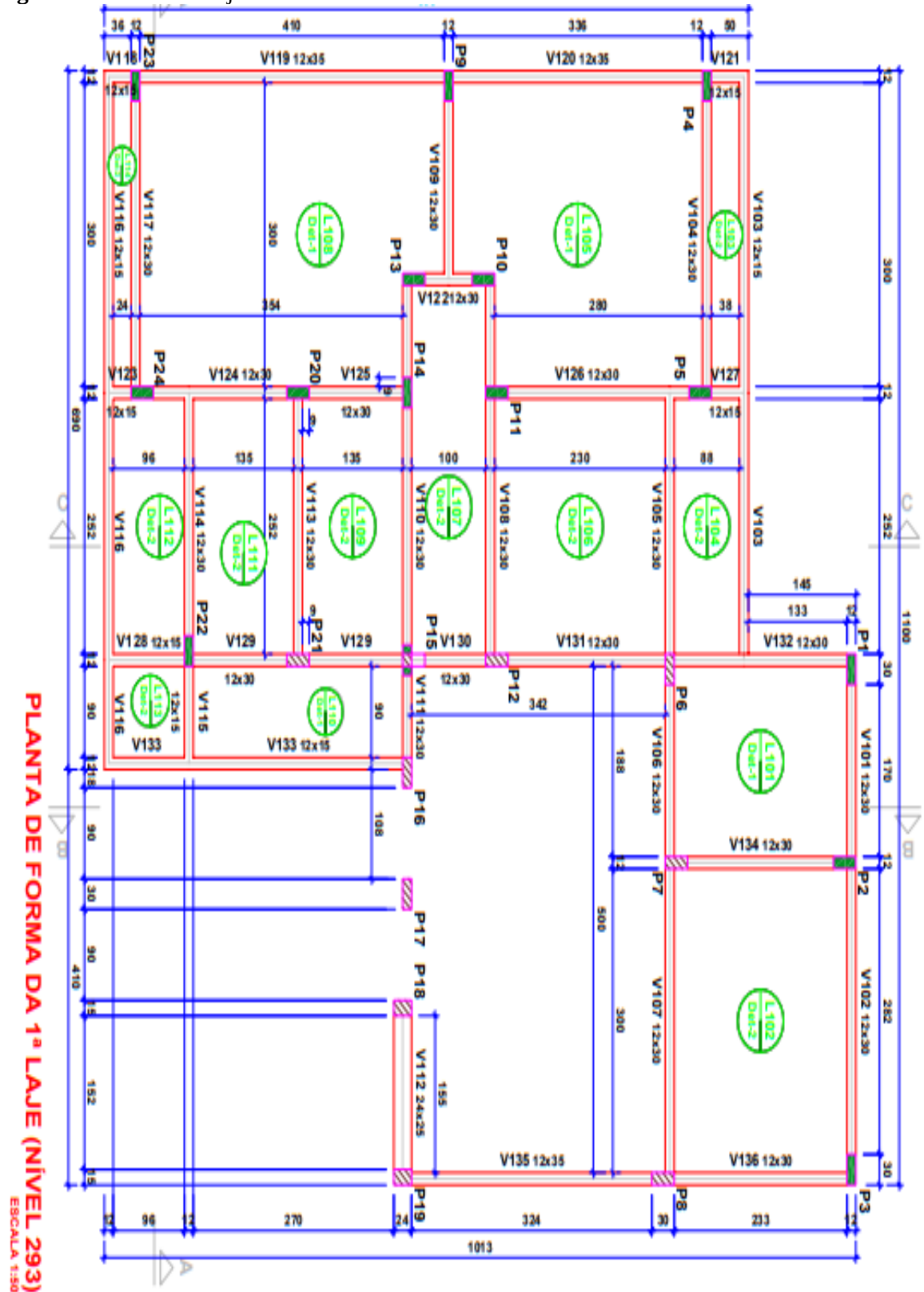
3.1 TIPO DE PESQUISA

Esse estudo é classificado quanto a natureza, como forma aplicada, quanto ao tipo de abordagem, é de forma quantitativa, quanto ao objetivo metodológico, de forma explicativa, caráter descritivo com levantamento da quantidade de materiais utilizados na execução de uma laje com vigota protendida ou treliçada com base em um projeto residencial unifamiliar localizado no centro de Cascavel, Paraná, e quanto ao procedimento metodológico, é uma pesquisa teórica, pois determina um objeto de estudo, seleciona as variáveis, define as formas de controle e de observação dos efeitos que cada variável produz.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DE PROJETO

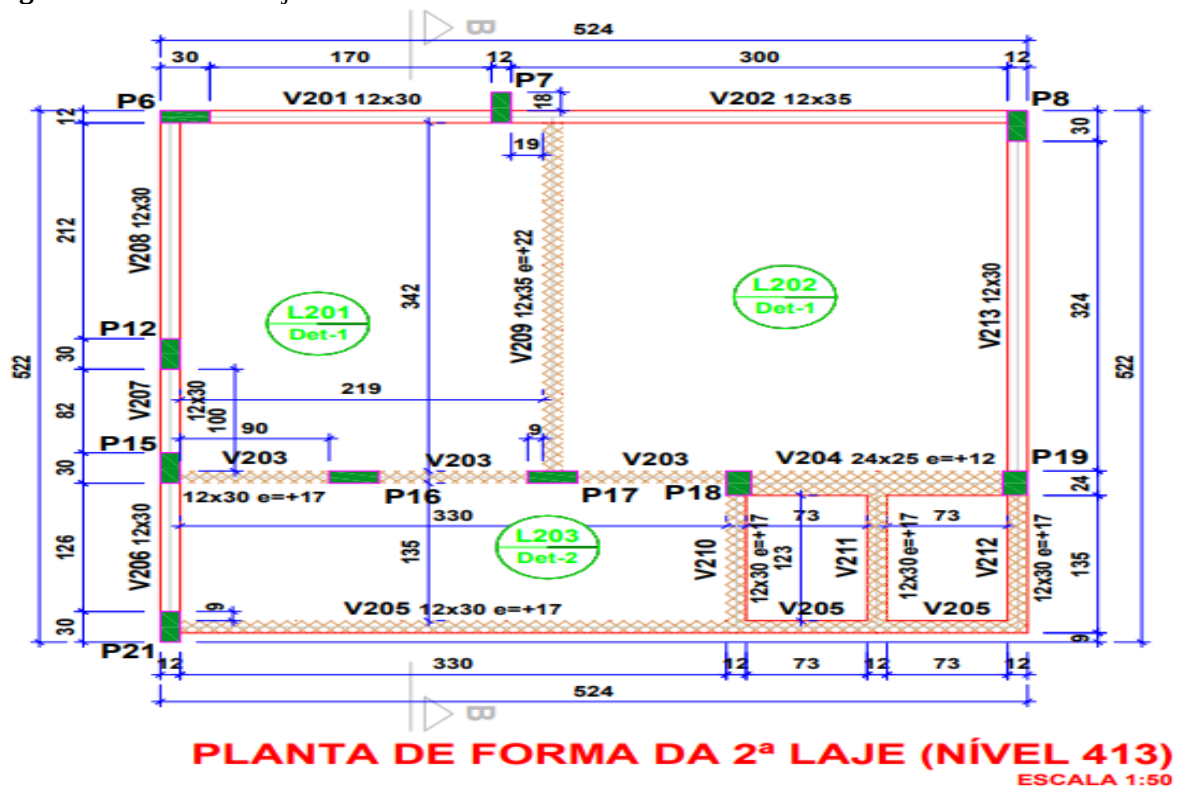
O projeto utilizado refere-se a uma residência unifamiliar localizada no município de Cascavel/PR. Os projetos de planta da laje e projetos estruturais da laje com vigotas treliçadas e projeto com vigotas protendidas foram fornecidos por uma empresa de pré-moldados de Cascavel – PR, onde a primeira laje da residência é composta por 13 vãos, como pode-se observar na planta de forma Figura 5, já a segunda laje se trata de um pé direito mais elevado composta por 3 vãos conforme ilustrado na planta de formas na Figura 6, totalizando 16 vãos para todo o projeto.

Figura 5: Planta da 1ª laje.



Fonte: Autores (2023).

Figura 6: Planta da 2ª laje.



Fonte: Autores (2023).

3.3 COLETA DE DADOS

Nesta etapa foram realizados levantamentos quantitativos de materiais necessários para a execução da laje, para o mesmo projeto foram comparados os dois tipos de lajes: vigotas treliçadas e vigotas protendidas. Com base nas informações de quantidade de material utilizado em cada um dos sistemas foi possível identificar qual método construtivo é o mais adequado para a execução da laje. Foram considerados fatores como as dimensões dos vãos e pressupostos necessários para este projeto.

3.3.1 CONCRETO

Nesta etapa foi realizado o levantamento de quantitativo de concreto necessário para a execução da laje com base nos projetos, onde foram coletadas informações referentes a área da laje, espessura de capa adotada nos projetos e consumo de concreto por área de ambos os sistemas construtivos, não foi considerado o volume de concreto das vigas.

Os volumes referentes ao concreto utilizado na execução das lajes, foram obtidos através da equação 3.

$$V = CONS * A$$

(3)

Onde:

V = volume (m³)

CONS = Consumo de concreto por área

A = área da laje

3.3.2 AÇO

Nesta etapa foi realizado o levantamento de quantitativo de aço necessário para a execução da laje com base nos projetos, onde foram coletadas informações referentes aos comprimentos de barras e bitolas presente em projeto, calculando a quantidade através da metragem e do peso específico de cada bitola.

$$P = C * Pesp$$

Onde:

P = Peso aço

C = Comprimento da barra

Pesp = Peso Especifico do aço

3.3.2 ESCORAS

Nesta etapa foi realizado o levantamento de quantitativo de escoras necessárias para a execução da laje com base nos projetos, onde foram coletadas informações referentes as dimensões de cada vão presente no projeto.

Para obtenção dos resultados referente aos dois eixos dos vãos foram calculadas as quantidades de linhas de escoras, determinadas através da equação 1 e o espaçamento entre escoras foi determinada através da equação 2:

$$ql = \frac{l}{1,30} \quad (1)$$

Onde:

ql = Quantidade de linhas de escoras;

l = comprimento do vão.

$$d = \frac{l}{ql} \quad (2)$$

Onde:

d = Distância entre escoras;

l = comprimento do vão;

ql = Quantidade de linhas de escoras.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

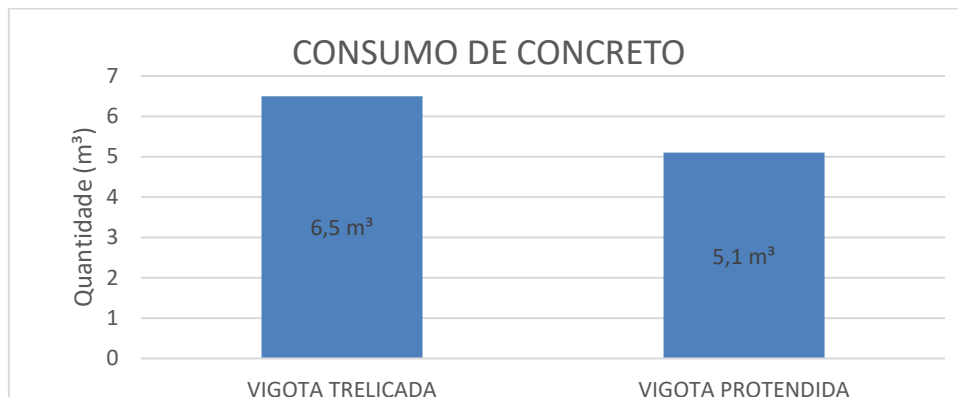
Foram elaborados gráficos e tabelas comparativas e inseridos os quantitativos de material para os dois métodos para facilitar a visualização e interpretação dos resultados utilizando planilhas do Excel. A partir dos resultados obtidos, foi possível responder aos objetivos propostos referente quantidade de material utilizado entre os dois métodos construtivos e assim identificar qual foi o melhor método a ser adotado no projeto.

4. RESULTADOS e DISCUSSÕES

4.1 CONSUMO DE CONCRETO

Com base na análise do Gráfico 1, percebe-se que fazendo o uso de vigotas protendidas o consumo de concreto é menor ao consumo se utilizar vigotas pré-moldadas treliçadas.

Gráfico 1: Relação de quantidade de concreto utilizado.



Fonte: Autores (2023).

A diferença de consumo ao optar-se pelo uso de vigotas pré-fabricadas protendidas é de 1,40 m³ de concreto em relação às vigotas pré-moldadas treliçadas, gerando uma baixa no consumo de material de 27,45%.

Para a obtenção dos dados referente ao consumo de concreto da laje foram considerados 92,96 m² de área de laje, 5 centímetros de capa para a laje executada com vigota treliçada e 4 centímetros para a laje executada com vigota protendida.

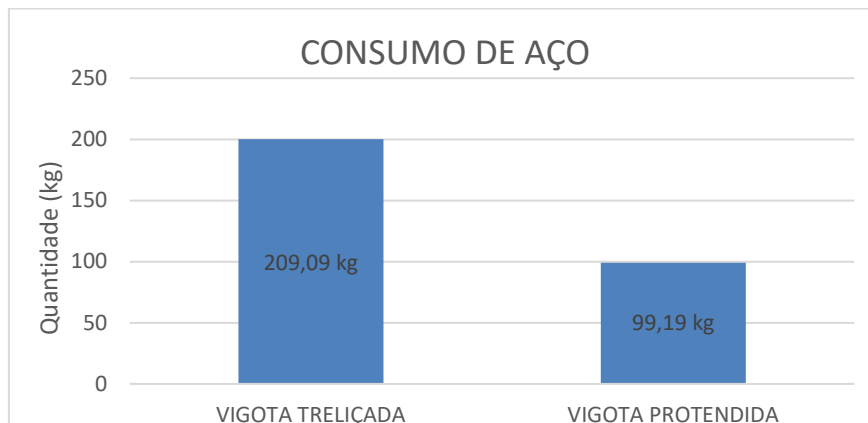
A diferença de consumo se dá pela diferença de espessura da capa da laje e pela diferença de consumo de concreto por área entre os dois tipos de vigotas, sendo 0,070 m³/m² para a vigota pré-moldada treliçada e 0,055 m³/m² para a vigota pré-moldada protendida.

Essa diferença de consumo por área se dá pelo fato da vigota pré-moldada treliçada gerar um vão entre as lajotas de enchimento, onde o concreto adentra, enquanto na vigota pré-moldada protendida esse vão não existe.

4.2 CONSUMO DE AÇO

Igualmente ao volume de concreto, a solução com vigotas pré-fabricadas protendidas apresenta menor consumo de aço em comparação ao uso de vigotas pré-moldadas, como exhibe o Gráfico 2.

Gráfico 2: Relação de aço utilizado.



Fonte: Autores (2023).

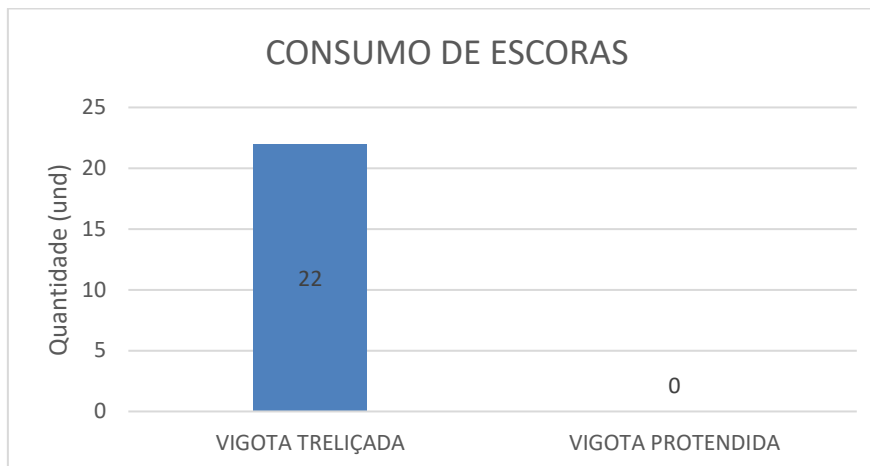
Enquanto com o uso de vigotas pré-moldadas trelaçadas o consumo de aço é de 209,9 kg, com vigotas protendidas o consumo é de 99,19 kg, tendo assim, uma diferença de 109,90 kg. Portanto, fazendo uso de vigotas protendidas, a economia de material é de 110,80%.

Em ambos sistemas construtivos foi considerada uma malha Q61 em toda a área da laje, a diferença de consumo de aço se dá pelo fato da laje executada com vigotas pré-moldada trelaçadas necessitou a utilização de armadura negativa pelo fato de ser engastada nas vigas, enquanto a laje executada com vigota pré-moldada protendida não necessitou de armadura negativa, pois a mesma é executada apoiada na viga posteriormente concretada.

4.3 CONSUMO DE ESCORAS

Por fim, por apresentar maior necessidade de escoramento, o sistema de vigotas pré-moldadas trelaçadas apresentou consumo de 22 unidades, comparando às vigotas pré-fabricadas protendidas que devido as dimensões dos vãos da residência, não houve a necessidade de utilização de escoras em nenhum ponto da laje, conforme o Gráfico 3.

Gráfico 3: Relação de aço utilizado.



Fonte: Autores (2023).

Portanto, usando vigotas pré-fabricadas protendidas, haverá uma economia integral em relação a este item comparando ao uso de vigotas pré-moldadas treliçadas.

Para a laje executada com vigotas treliçadas foi calculada uma linha de escoras a cada 1,30 metros do vão perpendicular ao sentido das vigotas.

Segundo recomendações da fabricante Certa Pré-Moldados (2023), para lajes executadas com vigotas protendidas, vãos de até 3,20 metros não necessitam de escoramentos, o que resultou na isenção da necessidade de escoramentos, pois o maior vão presente no projeto é de 3,00 metros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através comparação entre os dois modelos propostos, pôde-se avaliar as vantagens do emprego de vigotas pré-fabricadas protendidas de concreto em relação às vigotas pré-moldadas convencionais, especificamente no que tange ao consumo de materiais.

Conforme os gráficos que exibem a quantidade de material utilizado demonstram, torna-se evidente a menor utilização de material alcançada ao optar pelas vigotas pré-moldadas protendidas, abrangendo todos os critérios sob análise.

Ao conduzir uma análise final na utilização de cada tipo de material examinado, verifica-se uma redução significativa de 27,45% na utilização de concreto no caso das vigotas pré-moldadas protendidas, enquanto, na análise da utilização de aço, a economia de material atinge 110,80% quando comparada a laje pré-moldada protendida com a laje pré-moldada treliçada. No que diz respeito às escoras, torna-se notório a diferença de quantidade de material,



visto que a laje executada com vigotas pré-moldadas protendidas prescinde completamente de sua utilização, em contrapartida, à necessidade de escoras nas vigotas pré-moldadas treliçadas, resultando em uma economia integral nesse aspecto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1596: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 14859-1: Lajes pré-fabricada de concreto parte 1: vigotas, mini painéis e painéis**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 14859-3: Lajes pré-fabricadas de concreto parte 3: armadura treliçadas eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas**. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto Armado – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

BASTOS, P. S. S. **Lajes de concreto**. Bauru, São Paulo, 2015.

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

CERTA PRÉ-MOLDADOS. **Lajes protendidas**. Disponível em: <<https://www.certapremoldados.com.br/produto/5/lajes-protendidas>>. Acesso em 11 de outubro de 2023.

CHOLFE, L.; BONILHA, L. **Concreto protendido: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

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

FERREIRA, T. R. **Otimização estrutural de lajes formadas por vigotas treliçadas com e sem protensão**. Uberlândia, 2017.

FREITAS, A. J. **Materiais de Construção e Aço para Concreto**- Universidade Federal do Paraná.

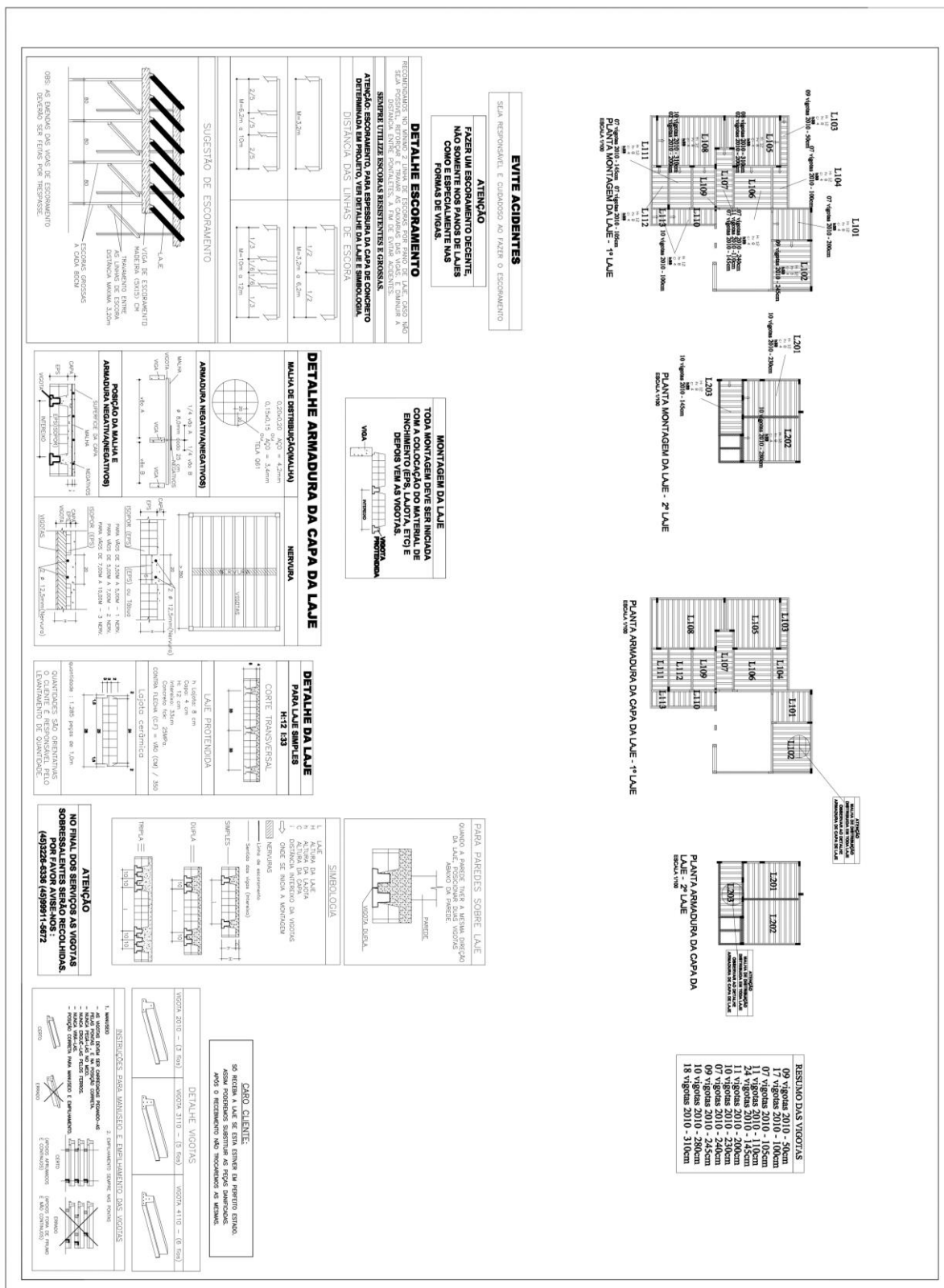
MICHEL, M. H. Metodologia e Pesquisa Científica: **um guia prático para acompanhamento da disciplina e elaboração de trabalhos monográficos**. São Paulo: Atlas, 2005.

PINHEIRO, Libanio M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Concepção Estrutural**. In **Fundamentos do Concreto e Projeto de edifícios**. 2007.

SILVA, L. B. D. **Análise comparativa entre lajes com vigotas treliçadas e protendidas**. unipampa, 2019.

SILVA, M. A. F. **Projeto e Construção de Lajes Nervuradas de Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

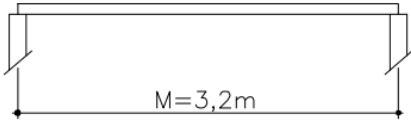
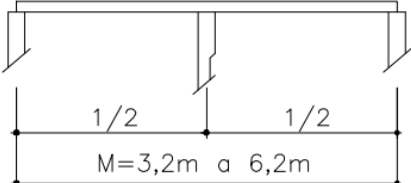
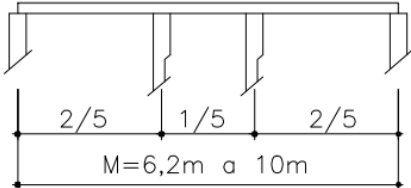
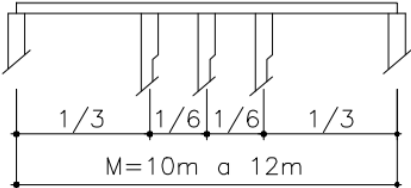
ANEXO B: Projeto estrutural laje vigota protendida.



ANEXO C: Recomendações de escoramentos.

ATENÇÃO: ESCORAMENTO, PARA ESPESSURA DA CAPA DE CONCRETO DETERMINADA EM PROJETO, VER DETALHE DA LAJE E SIMBOLOGIA.

DISTÂNCIA DAS LINHAS DE ESCORA

 M=3,2m	 1/2 1/2 M=3,2m a 6,2m
 2/5 1/5 2/5 M=6,2m a 10m	 1/3 1/6 1/6 1/3 M=10m a 12m