

RELATO DE EXPERIÊNCIA: VIABILIDADE ECONÔMICA DE LAJES

NERVURADAS EM CONCRETO ARMADO¹

Jose Paulo Pereira²
Luiz Carlos Maçaneiro³

RESUMO

O estudo analisa os tipos de lajes nervuradas mais usadas no mercado e suas adequações para uso na edificação de estrutura convencional, observando as exigências, os tipos e o tempo de execução. As competências técnicas para montagem das lajes nos processos de construção e o surgimento de novas tecnologias na fabricação das lajes. O trabalho finaliza com gráfico de cálculo financeiro das lajes estudadas para comparação de viabilidade econômica.

Palavras-chave: Lajes. Comparativo. Economia.

ABSTRACT

The study analyzes the most commonly used types of ribbed slabs on the market and their suitability for use in conventional structure construction, observing the requirements, types and execution time. The technical skills to assemble the slabs in the construction processes and the emergence of new technologies in the slabs manufacturing. The work ends with a graph of financial calculation of the slabs studied for comparison of economic viability.

Keywords: Slabs. Economy. Comparative.

INTRODUÇÃO

A construtora Dimensional Engenharia construiu em Brusque, região vale do Itajaí em Santa Catarina, um empreendimento educacional do Centro Universitário de Brusque, um prédio de três pavimentos, projetado para ser construído com lajes Alveolar Protendida. Visando a uma possível redução de

¹ Uma versão resumida do texto foi publicada do LinkedIn. www.linkedin.com/pulse/viabilidade-economica-de-lajes-nervuradas-em-concreto-paulo-pereira.

² Acadêmico formando de Engenharia Civil do Centro Universitário de Brusque-UNIFEBE.

³ Mestre em Engenharia Ambiental.

custos para empreendimentos futuros, o autor resolveu fazer, após a conclusão da obra, um estudo comparativo entre laje nervurada, usando como material inerte; blocos cerâmicos, EPs, cubetas de Polipropileno, laje pré-moldada TT (PI) e laje Alveolar Protendida.

O presente estudo foi feita no Campus da UNIFEBE situada da Rua Dorval Luz, nº 123, bairro Santa Terezinha, município de Brusque/SC, mais precisamente tomando-se como estudo desenvolver a pesquisa quantitativa e financeira sobre a laje piso do segundo pavimento do bloco D com uma área total de 1040 m².

FICHA TÉCNICA

CENTRO UNIVERSITARIO DE BRUSQUE - BLOCO

- D

Localização	Rua Dorval Luz, nº 123, bairro Santa Terezinha, município de Brusque/SC.
Construtora	Dimensional Engenharia
Engenheiro responsável	Emerson Geraldo Azevedo
Projeto	Edital FEBE Nº 01/16 Edifício educacional com 3 pavimentos tipo.
Apresentação	
Área do terreno	40.000 M ²
Área construída	2.080 M ²
Início da obra	04 de abril de 2016
Término da obra	03 de agosto de 2016

O presente estudo fez uma análise da viabilidade de construção das lajes mais usadas no mercado, dessa forma, pode-se identificar a partir do projeto com base no mercado atual e nas especificações do projeto que tipo de laje se torna mais viável economicamente.

Com os objetivos de;

- a) Analisar os requisitos de construção como tipos e o tempo de execução, com levantamento quantitativo de materiais usados e mensuração monetária;
- b) Identificar as dificuldades na implantação dessas lajes;
- c) Analisar as competências técnicas para montagem das lajes.

Com a justificativa de que mercado da construção civil passa por um período de adequações que se fazem necessário. Assim, com o planeta esgotando

seus recursos naturais, a correta escolha do sistema construtivo para laje, aumenta em muito a eficiência na execução das lajes. O gasto de madeira usado como escoras e desperdício do concreto que pode ser amenizado, com boas práticas e mudança no sistema construtivo (NAGALLI, 2014).

O projeto das lajes de concreto possui diferenças entre lajes de concreto moldado no local e pré-moldado. Quanto à análise estrutural, devem ser consideradas as ligações do elemento constituinte da laje. Se moldado no local, observar a ancoragem com a estrutura, se pré-moldado, observar os apoios, implicado no comportamento estrutural. As ligações rígidas da estrutura convencional possuem um comportamento, solicitando menos a flexão nas articulações do que as lajes pré-moldadas. Nas lajes pré-moldadas é preciso ter atenção com tolerâncias e folgas inerentes a montagem, além da manutenção do maquinário e treinamento da mão de obra, por ser um serviço com maior capacitação técnica. (YAZIGI, 2013)

A execução em canteiro tem como característica de produção artesanal da laje nervurada (montagem de vigotes e blocos), onde as peças á serem montadas vem de uma ou mais fábricas de peças integrantes (vigotes e blocos). Nesse caso, a organização dos trabalhos de execução deve seguir o projeto detalhado, como tamanhos e direções (NBR 6118, 2014).

A execução da laje em fábrica (pré-moldado ou pré-fabricado) constitui-se em um conjunto de operações que necessitam de um cuidadoso planejamento. As fábricas de lajes pré-moldados podem ser; fixas, semifixas ou móveis. As fábricas fixas são aquelas previstas por prazo indeterminado, para os quais o planejamento é feito á longo prazo. As fábricas de lajes pré-moldados semifixas são aquelas previstas por prazo determinado, para atender a determinadas situações. As fábricas de lajes pré-moldados móveis são aquelas previstas por prazo determinado e instaladas no canteiro de obras, visando atender uma obra (NBR 9062, 2006).

A NBR 6118 (2014) define lajes nervuradas como lajes moldadas no local ou como nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre os quais pode ser colocado material inerte como blocos cerâmicos, EPs, ou cubetas de polipropileno. As lajes com nervuras pré-moldadas devem atender adicionalmente as prescrições das normas brasileiras

específicas.

Segundo Carvalho (2014) os critérios para escolha de um pavimento de laje com nervuras pré-moldada é feita de maneira que garanta todos os elementos à segurança das ações aplicadas, sem apresentar grandes deformações, obedecendo ao estado limite de deformação excessiva. As ações verticais atuantes nas lajes são: carga acidental, carga permanente e sobrecarga permanente. A principal razão para determinação do tipo de laje é a economia de formas, sendo que um molde de nervura deve servir para diversos vãos, alterando apenas a quantidade de armadura, altura do bloco e espessura da capa para resistir aos esforços de flexão. A possibilidade de uma vez fixada geometria, a armadura e a resistência do concreto, calcular os momentos e vãos máximos.

A laje com bloco EPs, composto por vigote chata (ou deitada para vencer maior vão) pode ser inserida na mesma. Os empreendimentos com laje de bloco EPs é normalmente usado em construções convencionais, com pequena qualidade técnica da mão obra e de custo teoricamente um pouco mais caro que a laje com bloco cerâmico, na sua análise primária. O isolamento térmico e acústico desse material tem sua característica por ser um plástico na forma micro células fechado, basicamente de “vazios” contendo ar, cor branca, inodoro, reciclável e fisicamente estável. Com essas características, tem-se um material isolante da mais alta qualidade nas temperaturas de 70º C a 80º C.

De acordo com Teoria e Prática na Engenharia Civil (n.15, p.19-28, Abril, 2010), a laje nervurada com bloco EPs apresenta excelentes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Oferece funções de placa e membrana;
- Deve ser considerada bidirecional;
- Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços;
- Vence grandes vãos;
- Reduz forma e escoramento;
- Reduz tempo de execução;
- Estrutura monolítica;

-
- Facilidade de transporte, içamento e montagem;
 - Maior eficiência ao combate ao esforço cortante;
 - Teto liso com dispensa de forro falso;
 - Alívio nas reações da estrutura;
 - Reduz mão de obra em geral;
 - Baixa propagação de ruídos;
 - Altura otimizada devido à flexibilidade na produção de treliças e enchimento;
 - Reduz custo final.

Como desvantagens, tem-se apenas:

- Necessidade de uso de aditivo para chapisco do EPS.

As lajes nervuradas treliçadas seguem as exigências estabelecidas nas normas específicas: NBR 14859-1 (2002); NBR 14859-2 (2002); NBR 14860-1 (2002); NBR 14860-2 (2002) e NBR 14862 (2002). Todas atualmente em processo de revisão, as quais reportam as NBR 6118 (2014), NBR 9062 (2006), entre outras.

A laje nervurada com armadura em forma de treliça é executada em linhas gerais como nervura de concreto armado de seção T invertido. Embora seja necessária armadura especial em forma de treliça, chamada de armação treliçada, esses elementos são bem mais leves, passando a ser possível obter travamento transversal com nervuras moldadas no local com auxílio de formas plásticas, podendo atingir vão elevado de até 10 metros (NBR 6118, 2014).

Os procedimentos para construção da laje nervurada segundo Carvalho (2014) são os seguintes:

- a) O uso de fôrma em Madeirit plastificado, escoramento misto de metal (especificado em projeto) e madeira e cimbramento em barrotes de madeira.
 - b) Nivelamento com auxílio do nível de mangueira.
 - c) A ferragem colocada entre as nervuras ou sobre os blocos, rígidos, amarrados na ferragem das nervuras por meio de arame recozido.
 - d) Os shafts devem ser feitos com fôrma de madeira e delimitados, quando grandes, por vigas invertidas pela consideração de projeto.
 - e) As armaduras de distribuição colocadas sobre os blocos formando uma
-

malha. A mesma avança para dentro das vigas.

f) A ferragem negativa montada segundo especificação de projeto espaçadores do tipo plástico na laje nervurada.

g) Mestras foram colocadas sobre os blocos, amarradas à ferragem da nervura.

h) Preparação para a concretagem molhagem da fôrma para evitar absorção da água do concreto.

i) Lançamento do concreto por bomba estacionária.

j) Adensamento vibrador de imersão de 25 mm de diâmetro no centro, entre as 4 formas.

k) Espalhamento com pás e rodos de madeira.

l) Sarrafeamento com régua de madeira e desempenadeira.

m) Retirada das mestras após Sarrafeamento do concreto.

n) Cura molhagem da laje.

o) Desforma, quando se inicia execução da laje do próximo pavimento.

p) Limpeza das formas após a desforma.

q) Depósito adequado das cubetas plásticas de acordo com manual do fabricante.

No modelo de laje nervurada com cubetas plástica permite uma obra limpa sem acúmulos de madeiras usadas como: escoras, tabuas, apoios, travas e niveladores. Observa-se que a utilização dessas formas, escoramentos, nivelamento, todo o sistema construtivo é reutilizado por inúmeras vezes. No caso do presente estudo, optou-se por locação do sistema, devido ser uma obra esporádica.

Nesse sentido, observaram-se as etapas construtivas unidas por grupos de montagem para as diversas atividades de execução da laje. As lajes nervradas pesquisadas de acordo com Carvalho (2014) apresentaram aspectos positivos, negativos e vantagens que se encontram descritos e apresentados a seguir.

POSITIVOS: vence grandes vãos pelo uso das nervuras. Flexibilidade de layout, pelas vigas chatas que dá mais mobilidade à estrutura como um todo. Sarrafos colocados em cima dos blocos, servindo de mestras para formar a

referência de nível horizontal.

NEGATIVOS: blocos soltos na laje que pode causar acidentes durante o deslocamento do pessoal pela laje e também quando da concretagem leva ao estrangulamento de nervuras ou armaduras expostas. A presença de dois tipos de blocos, o que pode dificultar a distribuição dos mesmos, tendo que ser separados por local de aplicação.

VANTAGENS

- Construção mais racional de laje nervurada.
- Dispensa o uso de madeira e inertes (enchimento).
- Simplifica a armadura.
- Otimiza vãos com maior envergadura.
- Comercialização a base de locação.
- Redução de despesas no final da obra.
- Nervuras com larguras tecnicamente dimensionadas para alojar aço.
- Estrutura segura, sem perigo de corrosão precoce.
- Laje com ótima estética e acústica.
- Fácil desforma manual, sem uso ar comprimido.
- Sistema aplicável a qualquer tipo de escoramento.

As Lajes Pré-Fabricadas ou Laje TT (pi) são produzidas em concreto armado e moldadas em formas metálicas. Os elementos de seção TT podem ser empregados com ou sem capa de concreto moldado no local, formando uma peça composta. A Figura 12 indica esses casos, como as formas de apoio das peças. Esse tipo de peça é particularmente usado para grandes vãos (Van Acker,2002).

As peças podem ser produzidas protendidas ou não dependendo do vão, que pode variar de 5 m a 30 m em casos excepcionais até 40 m. Observando a relação vão/altura é na ordem de 30 (Van Acker, 2002). Assim como nas vigas, deve-se recorrer à literatura técnica, associadas com as indicações relativas às ligações de estrutura pré-moldada.

A NBR 9062 (2006) exclusiva de pré-moldados, fixa as condições exigíveis no projeto, na execução e no controle de estruturas pré-moldadas de concreto

armado ou protendido, excluídas aquelas em que se empreguem concreto leve ou outros especiais. A norma se aplica também em estruturas mistas ou compostas, ou seja, aquelas constituídas parcialmente de elementos pré-moldados e elementos moldados no local. A norma é estabelecer diretrizes para o projeto e a execução de estruturas pré-moldadas em edifícios.

No caso de ligações semi-articulada na emenda transversal de lajes, mesas de vigas T, segmentos de pilares, pórticos ou arcos onde o momento solicitante é menor ou igual a 15% do momento resistente da peça. Na distribuição dos esforços transversais entre unidades de lajes ou nas mesas de vigas T deve ser assegurada através de ligações transversais apropriadas (NBR 9062, 2006).

No caso de aplicação de cargas pontuais ou linearmente distribuídas paralelamente às juntas, deve ser realizada a verificação dos esforços de cisalhamento aplicados nas ligações entre lajes. Essas ligações podem ser feitas através do emprego de:

- a) juntas concretadas ou grateadas;
- b) ligações soldadas;
- c) capeamento com armadura transversal;
- d) associação de duas ou mais situações anteriores (NBR 9062, 2006).

Quando a solução de capeamento de concreto for empregada, a espessura mínima da capa em pontos isolados não deve ser inferior a 3 cm, adotando-se como espessura média de projeto acima de 4 cm. Para cargas acidentais $\leq 3 \text{ kN/m}^2$, não há a necessidade de verificação dos esforços atuantes na região das juntas dos elementos pré-moldados de lajes, se a tensão de referência T_{wd} não exceder $0,15 f_{ctdj}$ (NBR 9062, 2006).

No caso, a ligação pode ser realizada pelo rejuntamento das folgas entre as bordas dos elementos pré-moldados, com argamassa de cimento ou concreto. As folgas devem apresentar geometria adequada para garantir a transmissão da força cortante, sem levar em conta a aderência da argamassa de cimento ou concreto com os elementos (NBR 9062, 2006).

Para cargas acidentais $> 3 \text{ kN/m}^2$ e $\leq 5 \text{ kN/m}^2$, quando se adotar a solução de capeamento conforme, não haverá a necessidade de verificação dos esforços atuantes na região das juntas dos elementos pré-moldados de lajes, conforme,

onde h_2 deve ser somado à altura do capeamento. Para cargas acidentais $> 3 \text{ kN/m}^2$ e $\leq 5 \text{ kN/m}^2$, sem a execução da capa de concreto conforme e para cargas acidentais $> 5 \text{ kN/m}^2$, há a obrigatoriedade de verificação dos esforços atuantes na região das juntas dos elementos pré-moldados de lajes, dimensionando-se devidamente as ligações (NBR 9062, 2006).

1. As ligações tipo (a) e (b) podem ser por simples transpasse ou por solda.

2. As ligações tipo (d) e (e) utilizam cantoneiras metálicas devidamente ancoradas no concreto dos elementos, soldadas duas a duas, diretamente ou através de um elemento metálico intermediário.

3. A ligação tipo (c) é realizada pelo transpasse de barras dobradas em laço, na junta do tipo representado na figura, com preenchimento posterior.

4. A ligação tipo (f) é realizada utilizando-se barras metálicas dobradas em “U”, devidamente ancoradas no concreto dos elementos, soldadas duas a duas, diretamente ou através de um elemento metálico intermediário (NBR 9062, 2006).

As lajes alveolares são um tipo especial de laje que atendem grandes vãos para diversos tipos de utilização. São formadas por concreto com vazios longitudinais para redução do seu peso próprio e melhor desempenho estrutural. A esses vazios dá-se o nome de alvéolos, limitados por paredes de concreto chamadas de alma ou nervuras. As lajes são produzidas com concreto de elevada resistência à compressão ($f_{ck} \geq 45 \text{ MPa}$) e com aços especiais para proteção, seguindo rigorosamente o projeto a ser executado como na Figura 6 a seguir (NBR 9062, 2006).

De acordo com a NBR 9062 (2006) o painel alveolar de concreto protendido são peças de concreto produzidas industrialmente fora do local de utilização definitiva, sobre rigorosas condições de controle de qualidade, caracterizados por armadura longitudinal ativa e seção alveolar, definindo almas de concreto. Engloba totalmente a armadura inferior de tração necessária e o comprimento da armadura deve obedecer ao prescrito na NBR 9062 (2006).

A armadura protendida é a única armadura que reforça a laje. Esse tipo de peça não possui armadura de cisalhamento, sendo o concreto o único responsável pela resistência ao esforço cortante. Por esse motivo e outros, a qualidade do concreto deve ser constante e rigidamente controlado. A NBR 14861 (2001, p. 1)

Para que uma laje seja tratada como protendida, as cordoalhas, feixes de cabos, deve ser no máximo 6h não excedendo 1,20 m. Sendo que o espaçamento entre eles deve resultar em uma tensão de compressão média igual a 1 Mpa, já considerando todas as perdas. Os apoios das lajes não deve ultrapassar a largura em planta do pilar de apoio. Entre os cabos, o espaçamento mínimo das armaduras passivas deve ser mantido 5 cm (NBR 6118, 214).

O desvio no plano da laje de um cabo ou feixe deve produzir 1/10 de inclinação máxima imaginária, mantendo a curva parabólica em planta. O conjunto de cabos deve estar disposto de tal forma a manter uma distância mínima de 5 cm entre cabos na região central, com proteção na ordem de 1% (NBR 6118, 2014).

As lajes alveolares possuem os seguintes benefícios conforme a revista BPM Pré-moldados (2015):

a) dispensa de andaimes e escoramentos, economizando material e eliminando os resíduos provenientes dessas atividades do canteiro;

b) as formas metálicas deixam a superfície do concreto mais liso e com um aspecto melhor, podendo ainda ser aplicada pintura ou outro tipo de acabamento;

c) podem ser utilizadas como bi apoiadas, de forma contínua ou com engates para vencer grandes vãos de até 15 metros e também com pequenos vãos em balanço. Vãos maiores podem ser vencidos, porém, dependem de um estudo específico a ser realizado pela equipe de projetos;

d) excelente isolamento termo acústico;

e) podem ser aplicadas a qualquer sistema construtivo como estruturas metálicas e convencionais, possibilitando a passagem de dutos para cabeamentos e aberturas quando necessário.

Com a implantação das placas de laje alveolares, faz-se necessário o uso de guindaste com garras especialmente desenvolvidas para essa movimentação, sendo a área de içamento indicada a 1 metro na borda, mantendo a protensão ativa na peça.

Figura 1 Movimentação das placas de laje alveolares.



Fonte: autor.

A finalidade deste trabalho é desenvolver uma análise comparativa entre lajes nervuradas com diferentes materiais de enchimento, lajes Alveolares protendidas, e lajes TT (pi). Em seguida foi escolhido um edifício modelo para ser utilizado como base para a seguinte pesquisa. Adotou-se como modelo uma laje de 1040 m², de um dos pavimentos de salas de aula do bloco D do Centro Universitário de Brusque para realizar o estudo comparativo. A redução de custo aliado à sustentabilidade deve ser considerada em cada projeto, o vão livre é fator determinante na escolha da laje a ser executada.

A pesquisa bibliográfica é um trabalho de levantamento de informações e dados disponíveis em publicações livros, NBRs, teses e artigos de origem nacional ou internacional, revistas, e na internet, realizados por outros pesquisadores, sobre os modelos e métodos construtivos de cada uma das lajes pesquisadas. (SATTLER, 2003)

Na pesquisa de campo segundo Fuzzi (2010) procede à observação de fatos e fenômenos exatamente como ocorrem no real, à coleta de dados referentes aos mesmos e, finalmente, à análise e interpretação desses dados, com base numa fundamentação teórica consistente, objetivando compreender e

explicar o problema pesquisado. Assim procedeu-se visitas à fábrica de laje alveolar protendida, pré-moldado de fabricação de laje TT (pi) e visita as edificações em construção, para coleta de dados. A partir desses dados procedeu-se à organização e desenvolvimento de um modelo de cálculo baseado na TCPO 14, com área de laje de 1040m², onde possibilitou um desenvolvimento comparativo do método mais indicado para determinada área construída. A coleta de dados referente á custo do material foi feita em lojas de material de construção, empresas especializadas, concreteiras, empresas de prestação de serviço aqui da cidade de Brusque e outras regiões do Brasil.

População ou universo da pesquisa é a totalidade de elementos distintos que possui certa paridade nas características definidas para determinado estudo (BEUREN, 2006).

Para Beuren (2006) a proposição de população ou universo como conjunto de elementos que possuem determinadas características comumente é utilizada ao se referir a todos os habitantes de determinado lugar. Num aspecto macro, a população é formada pela coleção de propriedades ou atributos das unidades elementares que estão sob estudo. A população não se refere apenas a um grupo de pessoas sobre os quais se pretende conhecer, mas a uma coleção de unidades como: os seres humanos, os países, os fatos sociais, a produção agroindustrial, as empresas publicas e privadas e objetos diversos. Por outro lado, existem os estudos de casos, em que se examinam poucos elementos do universo populacional, por exemplo, a implantação de um sistema de custos baseados em atividades.

Amostra é uma pequena parte da população ou universo selecionada em conformidades as regras. Assim amostra é subconjunto de dados selecionados de uma população. No entanto é necessário que a amostra seja representativa, ou não conter características conflitantes com as características ou estrutura da composição da população de onde foi retirada (BEUREN, 2006).

Uma amostra, geralmente, é mais adequada ao processo investigatório, por apresentar custos reduzidos, maior rapidez, facilidade no controle, e possibilita uma análise mais precisa. De forma genérica, o objetivo das amostras consubstancia-se em abreviar e facilitar o trabalho de conclusão sobre a população pesquisada.

O plano de coleta de dados procedeu-se com: entrevista á fornecedores (de pré-moldado e protensão), engenheiros de campo e mestres de obra, em busca do porquê de se utilizar determinada laje no processo construtivo. Através de um questionário que serviu de base para a pesquisa. Esse foi dividido em projeto de laje, gerência da obra e observações feitas na obra, que auxiliaram nas visitas realizadas no canteiro de obra.

Tipologias de laje pesquisadas: nervurada com blocos cerâmicos, nervurada com bloco de EPs, nervurada com cubas plásticas, laje TT (pi), alveolar protendida. Dessa última, pude acompanhar e participar do processo de implantação em obra, durante o estágio obrigatório realizado na ampliação do bloco D da UNIFEBE. Na visita de campo, procurou-se identificar as conexões utilizadas entre lajes e os elementos estruturais.

Para coleta e análise foi elaborada uma planilha contendo todos os materiais de construção, maquinários e mão de obra para cada tipo de laje participante da pesquisa.

Após referencial bibliográfico relativo aos métodos construtivos, procedeu-se a pesquisa de campo, verificando os métodos construtivos para as tipologias de lajes estudadas para uma edificação.

Foram realizadas entrevistas com os corpos técnicos envolvidos na produção das lajes da edificação, procurando-se determinar os tipos de lajes que permitem a construção mais econômica viável em relação custo x tempo.

A pesquisa foi realizada com acompanhamento da montagem de cada tipo de laje pesquisada, sendo que algumas tipologias foram observadas duas obras e outras apenas uma obra (pouco difundida ou considerada cara). Na execução de cada etapa construtiva, observou-se os projetos, verificou-se os materiais utilizados, as equipes utilizadas, os tempos gastos e contra tempos ocorridos devido aos atrasos de entrega de materiais ou falta de mão de obra.

Nas pesquisas de campo realizou-se, entrevistas com operários, técnicos e fabricantes. Para os elementos pré-moldados, procurou-se esclarecer dados de projetos e de construção, obtendo informações necessárias para a pesquisa sobre o processo construtivo. O acompanhamento do processo construtivo possibilitou registrar dados referentes aos tempos gastos, operários utilizados, referente à respectiva área.

Observou-se o projeto, os materiais, as técnicas, os equipamentos e produtos utilizados nas diversas etapas dos tipos de lajes. Observou-se a aplicação dos conceitos de construção para os tipos de laje, sequência construtiva, uso de novas ferramentas, formação técnica do pessoal envolvido, acessibilidade aos projetos, locais de trabalho e normas de segurança. Em todas as tipologias verificou se as atividades de produção favoreciam ou dificultavam a conclusão da laje em estudo.

Em posse das informações obtidas nas visitas às obras, procurou-se avaliar os projetos necessários à execução dos tipos de lajes pesquisadas. Foram verificados a compatibilização do projeto arquitetônico, estrutural, instalações elétricas, hidro sanitárias e detalhamentos, implantação de peças pré-moldadas, cortes e posicionamento das armaduras. Durante as visitas foram observados os seguintes aspectos:

- Existência do projeto de laje;
- Nível de detalhamento, principalmente no que se refere à vinculação entre as peças;
- Número de trabalhadores envolvidos;
- Tempo de produção das atividades;
- Materiais, equipamentos e máquinas necessários à realização das atividades;
- Colocação de amarras entre os elementos estruturais, como armadura positiva ou negativa, ou ainda de distribuição, por transpasse entre as partes, observando se seguem o especificado em projeto ou se são colocados reforços;
- Padronização dos elementos;
- Flexibilidade e capacidade de ajuste em obra;
- Uso de técnica que permita alteração na sequência de construção, pré-fabricação;
- Cuidados tomados com material de enchimento, quanto a ser deslocado ou danificado durante a movimentação na mão de obra, o que pode levar ao estrangulamento das nervuras, ou adensamento do concreto em pontos.

Verificou-se como são feitos os detalhamentos dos projetos para facilitar a produção, observando-se a existência ou não dos seguintes projetos de

detalhamento:

- Projeto de interface entre a laje e a viga (ou parede);
- Detalhamento da localização do escoramento e do procedimento de montagem do mesmo;
- Montagem dos elementos pré-moldados;
- Detalhe do elemento de ligação entre as lajes;
- Detalhamento da posição das instalações que irão furar a laje para que estas não coincidam com as peças pré-moldadas;
- Locação dos pontos de protensão das peças;
- Detalhamento das áreas de pilares em lajes pré-moldadas;

No presente estudo a opção foi por calculista e não por arquiteto, porque os projetos são concebidos a partir da planta de fôrma. Verificou-se padronizar a pesquisa, a opção por um único projeto estrutural de laje e sua interação com os outros elementos do projeto.

A análise dos procedimentos teve início quando a superfície de apoio estava pronta. Entende-se por pronta a elevação das paredes para alvenaria, ou das vigas (fôrmas) e pilares para a estrutura convencional. As vigas tiveram acompanhamento durante a produção da estrutura, por ser parte fundamental na montagem das lajes, embora, não entre na análise final das lajes pré-fabricadas. Nas lajes nervuradas existe influência das vigas na pesquisa de custo, observado que o projeto possui grande vão onde se faz necessário a construção de vigas intermediárias. Na laje Alveolar Protendida foi observada que a empresa já vem utilizando-a em várias obras, sendo que a equipe de operários executava o serviço pela primeira vez, fazendo-se necessário a recomendação técnica da empresa fornecedora da laje Alveolar Protendida.

A necessidade de vãos maiores nesse estudo viabiliza que vários modelos de lajes devem ser analisados, mas apenas um adotado, com base em informações quantitativas necessárias em cada modelo analisado, em relação ao tempo de execução e várias hipóteses. A laje nervurada (Bloco cerâmico, Bloco de EPs, ou Cubeta plástica) demanda de maior tempo de execução, sendo amplamente utilizada em construções convencionais ou com vãos menores.

O tempo de execução aumenta consideravelmente se comparado com pré-moldado, os 1040 m² das lajes em estudo, optando por esse sistema construtivo, necessitam de aproximadamente 703 horas de execução do serviço, o que gera no comparativo, um aumento de 670,09% em relação às lajes pré-moldada, tanto Alveolar quanto TT (PI). No caso de uma edificação com prazo curto, o recomendado seriam as lajes pré-fabricadas (Alveolar ou PI), observando que o tempo de execução reduz consideravelmente.

A área de 1040 m² na laje pré-fabricada permite execução em aproximadamente 107 horas de trabalho, o que gera uma economia de tempo de aproximadamente 670,09%, mesmo o custo 27,02% maior da laje Alveolar Protendida, em relação à laje nervurada com bloco cerâmico, sua viabilidade se torna uma excelente opção.

O custo de compra da laje nervurada com cubeta plástica torna inviável a execução do modelo construtivo, observando um aumento de 52,26% no custo. Em caso de compra do sistema, optou-se por locação das unidades e estruturas, dificuldades em encontrar fornecedores e respostas dos fornecedores contatados.

A velocidade de execução das lajes nervuradas como foi determinado na presente pesquisa demanda de 41min/m² gerando uma produção diária de 14,49 m²/dia, considerando todas as etapas de construção da laje nervurada, considerando que o mês trabalhado possui 20 dias úteis, a execução da laje demora aproximadamente 3,5 meses. De acordo Nagalli (2014) sem contar o impacto ambiental causado por desperdício de material de construção como: escoras de madeira, painéis de compensados plastificados, blocos danificados e perda ou sobras de concreto, restando somente entulho a ser descartado, na maioria das vezes direto na natureza mesmo possível seu reaproveitamento.

As lajes pré-moldadas possuem grande vantagem na questão do impacto ambiental por ser um processo industrializado, praticamente não existe perda de material, gerando economia dos recursos naturais e valor monetário. Quanto à velocidade em condições normais de trabalho, as lajes pré-moldadas (Alveolar Protendida) podem ser executadas a aproximadamente 550 m² de laje e laje TT (pi) aproximadamente a 275 m² por dia, (sem nivelamento, chavetamento, instalação da tela eletrosoldada e capeamento da laje), dependendo do projeto e dificuldades na movimentação das peças.

A execução de montagem da laje em estudo, demanda de dois dias, verificando a produção diária de 98,04m²/dia, considerando todas as etapas de instalação e capeamento da laje pré-fabricada.

Essa pesquisa buscou um comparativo entre os tipos de lajes usados em nossa região, laje nervurada ou pré-fabricada, com objetivo de apurar o valor econômico de cada tipo de laje, executada sobre a mesma situação de carregamentos e vão livres. Os resultados obtidos permitiram analisar a diferença no tempo de execução e custos de cada laje.

As lajes alveolares e lajes TT (PI) permitem eliminar completamente o uso de formas, com gasto menor de material e energia, minimização do cimbramento e serviços relacionados, como: escoramento, barrotoamento e posterior desbarrotoamento, além do menor uso de armadura de distribuição da laje e o acabamento da parte inferior da laje, observando que nessas lajes, não se faz necessário realizar correções nas emendas do concreto. Outra característica é a velocidade de execução, que proporciona grande produtividade, reduzindo significativamente o tempo de execução e custo da mão de obra. Essa vantagem é

obtida devido à eficiência no processo de montagem, observando-se alguns aspectos como: guindaste, sequência de montagem, içamento e fixação.

A tecnologia de laje pré-fabricada alveolar protendida e vigas na laje TT (PI), torna-se uma excelente alternativa para construção de edifícios em uma escala industrial, proporcionando a uniformidade do projeto arquitetônico. Outra característica é a capacidade de vencer grandes vãos com elevados carregamentos devido à armadura ativa de protensão na laje alveolar protendida e vigas na laje TT (PI), combinado com o elemento geométrico de grande resistência, associada com a redução do peso próprio.

Os sistemas de lajes nervuradas moldadas in loco pesquisadas esbarram na perda de qualidade e desperdício de materiais durante o processo executivo. A perda da qualidade na maioria das estruturas convencionais em relação à laje pré-fabricada, gerando gastos com materiais para escoramento, formas, painéis, entre outros, contribuindo muito na geração posterior de entulho na obra. Nesse caso, faz-se necessário à adoção de medidas mitigadoras que apontam uma linha racional executiva. Há necessidade de investimentos em novas tecnologias avançadas, preocupações extras com a concretagem, a instrução ou formação mais técnica dos operários e a qualidade na execução, influencia diretamente no desempenho do produto final.

A presente pesquisa procurou avaliar de acordo com o projeto modelo as etapas de construção das diferentes tipologias de laje em uso na região de Brusque. Com base em tabelas obtidas para a mensuração monetária em relação ao tempo de execução, pode-se confirmar que para as condições estudadas nessa pesquisa, as lajes pré-moldadas do tipo alveolar protendida e laje TT (pi) são mais indicadas para obras com tempo curto e maiores vãos, enquanto que as lajes nervuradas moldadas in loco usualmente em vãos menores demanda maior tempo de execução. A pesquisa realizada possibilitou a elaboração de material que descreve as possibilidades de execução das lajes, objetivando principalmente colaborar com a viabilidade econômica final da edificação.

O projeto para a laje estudada apresentou dificuldades de entendimento, principalmente na laje nervurada com aplicação de material inerte de bloco cerâmico ou EPs, onde necessitou inclusão de vigas intermediárias para sustentação da laje. O projeto sendo bem detalhado, evita problemas relacionados

pela má interpretação dos procedimentos, eleva a produção, a qualidade do produto final, reduzindo custos e prazo de entrega da obra.

As construtoras dispõem de técnicas e materiais presentes em parte do seu histórico na construção de edificações. Esses fatores influenciam diretamente na escolha dos tipos de lajes que podem ser mais adequadas para determinada empresa em função das necessidades da obra, dos recursos disponíveis e da aplicação construtiva detalhada em projetos a serem executados como planejado em obra. A montagem das lajes é fundamentada no conhecimento adquirido ao longo do tempo pelos engenheiros, mestres de obra e operários, em função da falta de literatura ou documentação que detalha e auxilia na execução das lajes. Os problemas como: planejamento descontínuo dos serviços a serem executados fazem parte principalmente, do sistema construtivo de lajes nervuradas, associados à falta de inspeção, comprometem o tempo e qualidade de execução.

Aplicação de novas tecnologias à industrialização dos sistemas construtivos evitariam atividades desnecessárias, dando maior velocidade de produção da laje e contribuindo com a redução ou ausência de desperdício de recursos, minimizando os impactos ambientais tão comuns na construção civil. Consequentemente, a redução no custo de produção, aumentaria o lucro das empresas da construção civil.

Habitualmente, as lajes pré-moldadas alveolares protendidas e TT (pi) apresentaram facilidade de execução na maioria das atividades desenvolvidas, com mínimo de geração de resíduos sólidos. Considerada uma construção enxuta, porque são precisas na quantificação de material. A observação dos processos de construção nos canteiros de obra viabilizou uma análise do projeto de pesquisa, que possibilitou a elaboração de uma planilha quantitativa com base na TCPO 14. Esse documento é um registro da concepção das lajes analisadas, das operações necessárias desde compra, aluguel, logística envolvida, montagem e execução das tipologias observadas.

Por meio dos itens pesquisados que permitem a mensuração dos valores a serem aplicados e associados a aspectos positivos e negativos para cada tipo de laje pesquisada, pode-se definir a escolha da laje a ser adotada.

Os cálculos mostraram que o sistema de laje nervurada com cubetas de polipropileno ofereceria uma possível economia de 27,02% em relação à laje

Alveolar Protendida, principalmente em função do menor consumo de concreto, aço e. No entanto, algumas características da execução levaram a empresa a executar o sistema mais caro. A laje Alveolar protendida segundo explica Emerson Geraldo Azevedo, engenheiro responsável da construtora pela obra, a execução da laje Alveolar protendida exigiu mão de obra especializada na movimentação (guindaste), a empresa contratou uma equipe específica para esse este serviço. “Contudo, a decisão do uso da laje alveolar protendida, nesse caso específico (ampliação do bloco D), não foi decisão da Dimensional Engenharia, isso já fazia parte do escopo do edital de concorrência, onde determinava o tipo de laje á ser utilizada, seu vão e sobrecarga, outra situação é o cronograma, também imposto pelo edital de licitação”.

“Contudo, se a decisão fosse estritamente nossa muito provavelmente, utilizaríamos pra essa obra o mesmo tipo de Laje”, pondera.

Observado que a laje nervurada é mais barata desde que seja feita no prazo previsto. Caso houver atraso, a empresa começa a ter custos extras de locação, mão de obra e multas por atraso na entrega da obra.

Laje alveolar protendida: aproveitamento de travas para chavetamento utilizados na concretagem de outros prédios da mesma instituição, a velocidade de execução e cronograma apertado favoreceu decisão pelo sistema.

Lajes nervuradas: apesar da variação chega até 27,02% mais barato, sistema é preterido por demandar mão de obra especializada, associado ao aumento significativo no tempo de execução.

Acrescenta ainda que uma das principais vantagens da laje nervurada usando como material inerte; blocos cerâmicos, EPs, cubetas de Polipropileno - a possibilidade de vencer vãos - se aplicaria ao empreendimento da UNIFEBE. O projeto previa o sistema de laje alveolar protendida, sendo que a comparação entre os sistemas construtivos objetivou-se obteria alguma vantagem no custo. Para a Dimensional Engenharia a construção do empreendimento educacional do Centro Universitário de Brusque, o ganho financeiro do sistema nervurado não foi observado, frente às condições do edital que solicitava laje alveolar, e às vantagens que trouxe à produção.

Gráfico 1 valor monetário das lajes



Fonte Autor.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1**: laje pré-fabricada - requisitos. Parte 1: lajes unidirecionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-2**: laje pré-fabricada - requisitos Parte 2: lajes bidirecionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14861**: laje pré-fabricada: painel alveolar de concreto protendido: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. Disponível em: <<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/36122/nbr14861-lajes-alveolares-pre-moldadas-de-concreto-protendido-requisitos-e-procedimentos&email>>. Acesso em: 20 set. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14862**: armaduras treliçadas eletrosoldadas - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. Disponível em: <http://www.sinaprocim.org.br/Normas/LAJE_PRE-FABRICADA_E_ARMADURA/TEXTOS_BASE/NBR_14862.pdf>. Acesso em: 22 set. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/nbr-9062-2006pdf.html>>. Acesso em: 24 set. 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NR 18**: condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. Rio de Janeiro: Abnt - Associação Brasileira de Normas e Técnicas, 2013. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080814295F16D0142ED4E86CE4DCB/NR-18> (atualizada 2013) (sem 24 meses). pdf>. Acesso em: 10 out. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NR 35**: TRABALHO EM ALTURA. São Paulo: Portaria Sit, 2012. 06 p. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A3D63C1A0013DAB8EA3975DDA/NR-35> (Trabalho em Altura). pdf>. Acesso em: 27 set. 2016.

VAN ACKER, Arnold. **MANUAL DE SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO**: Tradução Marcelo Ferreira, ABCIC-2003. São Paulo: Unicamp, 2002. 129 p. Disponível em: <<http://www.ft.unicamp.br/~cicolin/ST 725 A/mpf.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2016.

CARNEIRO, L. R. S. **Estudo geral dos principais sistemas estruturais em concreto pré-moldado no Brasil**. 2013. 168 p. Trabalho Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) - Universidade da Amazônia, Belém, 2013. Disponível em: <www.unama.br/graduação/engenharia-civil/>. Acesso em: 11 out. 2016.

CARVALHO, João Dirceu Nogueira de. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto**. *Revista Tecnológica*, Maringá, v. 17, n. 1, p. 19-36, 2008. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/8169/5163>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118 2014. 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2015.

CARVALHO, Suellen Giuliane da Silva. **Orçamento da cubetas plástica para laje nervurada**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <Jpaulop@bol.com.br>. em: 27 out. 2016.

CONSTRUCTION, Ulma. **Forma recuperável Recub.** [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <Jpaulop@bol.com.br>. em: 15 out. 2016.

DEBS, Mounir K. El. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações.** São Paulo: USP, 2000.

NAGALLI, André. Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 176 p. ISBN 9788579751257.

GRAZIANO, Francisco Paulo. **Projeto e execução de estruturas de concreto armado: primeiros passos da qualidade no canteiro de obras.** Brusque: Nome da Rosa, 2005.

PINI. **TCPO 14:** Tabela De Composição De Preços Para Orçamentos. 14. ed. São Paulo: Pini, 2012. 640 p.

TISAKA, Maçahico. **Orçamento na construção civil:** consultoria, projeto e execução. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Pini, 2011.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar.** 13. ed. São Paulo: Pini, 2013.

PRÉ-MOLDADOS, Equipe Técnica Bpm. **Laje Alveolar Protendida:** Manual de informação. Forquilha: Bpm, 2015. 25 p.

FUZZI, Ludimila Pena. **Metodologia Científica:** O que é pesquisa de campo? 2010. Conceito baseado no livro O Historiador e suas Fontes, Carla Bassanezi Pinsky - Editora Contexto. Disponível em: <<http://profludfuzzimetodologia.blogspot.com.br/2010/03/o-que-e-pesquisa-de-campo.html>>. Acesso em: 10 nov. 2016

BEUREN, Ilse Maria. **Como Elaborar Trabalhos Monográficos em Contabilidade:** Teoria e Prática. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2006. 188 p.

SATTLER, Miguel Aloysio. Edificações e comunidades sustentáveis: atividades em desenvolvimento no NORIE/UFRGS. **Seminário de Transferência y Capacitación para Viviendas de Interés Social,** 2003.