

LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS DE CONCRETO VERSUS LAJES CONVENCIONAIS: VIABILIDADE ECONÔMICA¹

GONZATTI, Lucas Gobbato²
MADUREIRA, Eduardo Miguel Prata³

RESUMO

A crescente evolução da construção civil, bem como suas técnicas construtivas possibilitaram ao homem desenvolver edifícios melhores, mais racionais e em menor tempo. Arelado a essa evolução dos métodos construtivos, desenvolveram-se recursos computacionais através de *softwares* que propiciaram ao profissional engenheiro um ganho considerável em eficiência e confiabilidade quanto à análise estrutural; todavia, a definição quanto ao tipo de sistema estrutural como também as peculiaridades para cada projeto em questão ainda repousam sobre a responsabilidade do engenheiro de estruturas. Entre a ampla gama de opções atualmente disponíveis no mercado, este trabalho enseja proporcionar ao leitor uma análise quanto à viabilidade econômica de um edifício originalmente construído com o sistema de lajes alveolares protendidas de concreto comparado com outros dois sistemas largamente utilizados na esfera da construção civil brasileira: as lajes maciças de concreto e pré-moldada treliçada. Este edifício serviu como modelo de análise para os três sistemas citados. Primeiramente, os sistemas de lajes destacados neste trabalho foram citados individualmente, abordando as principais características, seu método executivo, vantagens e desvantagens. Posteriormente, foi realizada uma readequação estrutural do edifício através de um *software* de cálculo estrutural, objetivando a viabilização para os sistemas de lajes maciças e treliçadas e a obtenção dos respectivos materiais envolvidos tanto para as lajes quanto para os elementos estruturais adicionais. Isso possibilitou a realização de uma composição de custos que, por fim, serviu como referência para comparar os custos entre os sistemas entre as lajes. Após a realização da análise comparativa entre os sistemas abordados, concluiu-se que as lajes alveolares apresentaram um custo maior; no entanto, parâmetros envolvendo o Custo de Oportunidade devem ser levados em consideração quando se trata de uma tomada de decisão final.

PALAVRAS-CHAVE: Laje alveolar. laje maciça de concreto. laje pré-moldada treliçada. custos. viabilidade econômica.

1. INTRODUÇÃO

Vive-se um período de incertezas por todo o País, marcado por uma grave crise econômica em que diversos segmentos industriais demonstram preocupação quanto ao futuro. O ano de 2016 tornando-se um tempo de indefinições políticas, inflação e desemprego crescentes, recessão econômica, deterioração fiscal, entre outros. Em um cenário conturbado como este, o Produto Interno Bruto (PIB) da construção civil registrou, em 2015, a maior queda em doze anos, cerca de 7,6%, considerada a segunda mais expressiva, atrás apenas do ano de 2003 (-8,9%) (CBIC, 2016).

Segundo a CBIC (2016), para que a economia volte a crescer, é necessário poder contar com o retorno da confiança dos empresários e consumidores, mas para tanto, é preciso uma sinalização

¹ Artigo extraído do TCC de Graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário FAG em 2016/2.

² Engenheiro Civil graduado pelo Centro Universitário FAG. E-mail: lucasgonzatti@hotmail.com

³ Economista. Mestre em Desenvolvimento Regional e Agronegócio. Professor do Centro Universitário FAG e da Faculdade Dom Bosco. E-mail: eduardo@fag.edu.br.

efetiva de que a economia voltará ao rumo certo, com as contas públicas e inflação controladas, em uma esfera macroeconômica. Keynes (1996) evidencia a importância das expectativas na atividade econômica – boas expectativas motivam os empresários a investir e consumidores a adquirir produtos. Para o renomado economista, cabe aos governos, em todas as suas esferas, gerar boas expectativas para que o mercado faça a sua parte.

Trazendo para o âmbito da construção civil, talvez uma das melhores maneiras de driblar todo esse cenário adverso no Brasil se dê pelo investimento e estudos referentes ao tema da produtividade. Novas tecnologias vêm sendo criadas e evoluídas nesse segmento, rompendo a dependência do usual para métodos mais rápidos e racionais. Um bom exemplo é a indústria de pré-fabricados.

De acordo com Vasconcelos (2002), não é possível ter com exatidão a data em que se começou a usar elementos pré-moldados. O próprio nascimento do concreto armado ocorreu com a pré-moldagem de elementos, fora do local de seu uso, logo é possível afirmar que a pré-moldagem começou com a invenção do concreto armado. Contudo Salas (1988) evidencia que tal tecnologia foi amplamente usada no período após a Segunda Guerra Mundial, oriunda da necessidade de reconstrução massiva, de forma rápida.

Nos últimos anos, muito se tem investido no mercado da construção civil. A busca por um padrão de qualidade mais rigoroso, com maior produtividade e redução dos desperdícios são fatores que impulsionam o crescimento das indústrias de pré-fabricados no País. Estas constituem alternativas para acabar com os problemas dos elementos moldados *in loco*, que, em função da lentidão dos processos e de uma preocupante falta de mão de obra especializada, torna-se, por vezes, ineficiente.

Cada vez mais as construções vêm evoluindo, sobretudo em tamanho. Um dos problemas enfrentados nesse avanço é a necessidade de vencer grandes vãos, no que a utilização das lajes convencionais maciças se mostrava inviável, antieconômica. Isso foi o pontapé para o surgimento de novos sistemas estruturais, acompanhados de modernos *softwares* que tornam os dimensionamentos mais refinados e precisos. Importa ressaltar também a evolução tecnológica que os materiais empregados na construção civil vêm sofrendo, em especial o aço e o concreto, que passaram a ter maior resistência, possibilitando-lhes um significativo aumento em eficiência.

O setor dos pré-fabricados vem ganhando força no Brasil não apenas por sua eficiência, mas também pela qualidade empregada nos produtos que só uma indústria moderna, dotada de

tecnologia computadorizada e trabalhadores especializados é capaz de fornecer. Assim o produto final é otimizado mediante a racionalidade das tarefas, resultando em ganho de durabilidade, desempenho estrutural e versatilidade (SERRA, FERREIRA e PIGOZZO, 2005).

Com base no exposto, pergunta-se: Até que ponto é economicamente viável o emprego de técnicas tradicionais como a laje maciça de concreto e a pré-fabricada treliçada em relação a soluções inovadoras como a laje alveolar protendida? Visando responder ao problema proposto, estabeleceu-se como objetivo geral comparar os custos entre o emprego de estrutura de lajes maciças de concreto, laje pré-moldada treliçada e lajes alveolares protendidas. De modo específico este trabalho buscou: levantar quantitativamente os materiais empregados nos sistemas convencionais, dando subsídios para uma composição de custos; verificar alternativa mais vantajosa, considerando os três sistemas de lajes propostos.

Um ditado popular afirma que “tempo é dinheiro”, e quando se trata de reduzir o tempo de execução de um serviço, os pré-fabricados podem ser uma ótima solução. Neste trabalho, o destaque será para a laje alveolar protendida, escolhida entre a ampla gama de opções atualmente presentes no mercado. É uma laje constituída de painéis de concreto protendido que possuem seção transversal com altura constante e alvéolos longitudinais, responsáveis pela redução do peso da peça. Esse tipo de estrutura traz consigo diversas vantagens, como facilidade de transporte, eliminação do cimbramento, simplicidade e rapidez de montagem, maior qualidade e confiabilidade e economia. Tal perspectiva fica ainda mais interessante pois dispensa quase totalmente os serviços de armação, carpintaria, revestimentos e estocagem, favorecendo, assim, até o canteiro de obras com uma logística mais precisa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO ESTRUTURAL

A finalidade primária do esqueleto humano é sustentar o organismo. De modo análogo, atribui-se à estrutura de uma edificação responsabilidade semelhante, a qual deve garantir, de acordo com a destinação do imóvel, atributos como eficiência e resistência, capazes de absorver os

esforços originários das ações atuantes na estrutura. Corrêa (1991) aponta que a questão da estrutura tem como característica principal a complexidade, que decorre do número de variáveis presentes e da multiplicidade de soluções possíveis.

É por isso que Albuquerque (1999) esclarece que, de posse do projeto arquitetônico, faz-se um estudo preliminar das soluções estruturais cabíveis, sendo estas analisadas por uma equipe multidisciplinar. O arquiteto então apresentará as restrições que devem ser observadas para que não se percam aspectos como a funcionalidade e estética do seu projeto, o engenheiro de instalações posicionará as tubulações, o construtor informará os recursos técnicos disponíveis para a construção e, por fim, o incorporador estabelecerá a viabilidade financeira do investimento. Albuquerque (1999) afirma ainda que tais prerrogativas importantíssimas surgiram recentemente com a introdução do conceito de qualidade total denominado compatibilização de projetos.

De maneira geral, a estruturação de um edifício se dá pelo pavimento-tipo, iniciando-se com a locação dos pilares, que deve seguir a seguinte ordem: pilares de canto, pilares nas áreas comuns a todos os pavimentos (área de elevadores e escadas, se houver) e onde estarão localizados, no pavimento de cobertura, a casa de máquinas (se houver) e reservatório, pilares de extremidade e, por último, os pilares internos (NERVO, 2012).

Deve-se atentar ainda para a disposição dos pilares com relação aos demais pavimentos, verificando se estes não entram em conflito com a arquitetura – caso haja, é necessário um estudo de possibilidade a fim de sanar as necessidades estruturais relacionadas com a arquitetura. Esse é um problema muito encontrado em garagens de edifícios, onde se deve ser garantir ao usuário condições para manobrar seu veículo.

Passando para as vigas, Nervo (2012) nos diz ainda que a colocação delas vai depender do tipo de laje que será empregada, uma vez que as vigas delimitam o contorno das lajes. Devem-se colocar as vigas no alinhamento das alvenarias e começar a definir as vigas externas do pavimento. Além daquelas que ligam os pilares que constituem os pórticos, outras vigas podem ser necessárias para dividir um painel de laje com grandes dimensões (ALBUQUERQUE, 1999).

2.2 SISTEMAS E ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Um sistema estrutural pode, de modo geral, ser definido como a disposição racional e adequada de diversos elementos estruturais. Estes, por sua vez, são corpos sólidos, deformáveis, com capacidade de receber e transmitir solicitações em geral (BARALDI, 2010).

A análise de uma estrutura como um todo é, de certa forma, complexa e difícil. Por essa razão, para montar modelos físicos e matemáticos para uma análise estrutural, emprega-se a técnica de discretização (CARVALHO e PINHEIRO, 2013).

2.3 AS LAJES ALVEOLARES

A NBR 14861 (ABNT, 2011) define laje alveolar como uma peça de concreto produzida industrialmente, fora do local de utilização definitiva, sob rigorosas condições de qualidade. Para França (2012), ela pode ser caracterizada por presença de armadura longitudinal ativa, que engloba totalmente a armadura inferior de tração necessária, e por ausência de armadura transversal de cisalhamento. A seção transversal é alveolar, com a presença de almas de concreto e alvéolos.

As lajes alveolares são produzidas em fôrmas metálicas com comprimentos que podem chegar a 200 m, muito em razão do espaço disponível na fábrica. Nelas há trilhos para que a máquina possa se deslocar (FRANÇA, 2012).

Catoia (2011) explica que os cabos de protensão inicialmente são dispostos sobre as pistas e, a seguir, são protendidos com tensão previamente estipulada em projeto. Com esta etapa concluída, realiza-se a ancoragem das cordoalhas nas cabeceiras das pistas, próprias para essa finalidade.

Pode-se perceber, então, que a pré-tração nas armaduras é feita anteriormente à concretagem, de modo que a protensão se dá pela aderência do concreto com a armadura, após seu endurecimento (PETRUCCELLI, 2009).

As primeiras lajes alveolares foram desenvolvidas na década de 1950 na Alemanha, quando evoluíram as técnicas de proteção em longas pistas, todavia, nos trinta anos subsequentes, os métodos construtivos pouco mudaram. Foi então que, no ano de 1980, diversas pesquisas relacionadas ao tema começaram a ser realizadas na Europa, e elas conduziram a um avanço tecnológico que resultou em um processo de produção mais econômico, com espessuras maiores

que 300 milímetros. Não demorou muito para a produção desse tipo de laje se espalhar pelos Estados Unidos (CATOIA, 2011).

Nos dias de hoje, a tecnologia que envolve a produção das lajes alveolares é bem desenvolvida e consolidada. Fato é que corresponde a um dos mais avançados tipos de unidades pré-moldadas, com milhões de metros quadrados produzidos anualmente, sendo a América do Norte e Europa Ocidental seus maiores mercados.

Tamanho sucesso pode ser atribuído às inúmeras vantagens que esse sistema traz consigo – não apenas no âmbito estrutural, já que o mais significativo se dá no âmbito temporal. A Tatu Pré-Moldados, empresa que atua no segmento de fabricação desse tipo de laje, traz um dado interessante; segundo a empresa uma equipe de três operários pode chegar, sem dificuldade, a 50 m² por hora, o que equivaleria a 400 m² em oito horas de trabalho. Some-se a isso a extrema adaptabilidade desse tipo de laje aos mais diversos sistemas estruturais, como estruturas metálicas, de madeira, de concreto moldado *in loco*, entre outros (TATU PRÉ-MOLDADOS 2005).

Trazendo para o âmbito brasileiro, Catoia (2011) observa que as lajes alveolares começaram a surgir por aqui em meados dos anos 1980, obtendo sua consolidação em 2001, acompanhando o crescente emprego das estruturas pré-moldadas.

2.3.1 Processo construtivo

De acordo com a NBR 14861 (ABNT, 2011) as lajes alveolares são executadas basicamente por dois métodos: por fôrmas fixas ou produzidas por equipamentos como máquinas extrusoras ou moldadoras, sendo a execução com máquina o processo mais utilizado.

A produção por meio de máquinas se divide em dois tipos: por fôrmas deslizantes ou por extrusão. Na primeira, as unidades de laje alveolar são feitas a partir do deslizamento da fôrma. A fabricação ocorre em várias camadas de concreto, lançado em dois ou quatro estágios, e sua compactação se dá por vibradores localizados externamente à máquina. O concreto utilizado nesse processo tem maior trabalhabilidade em comparação com o da extrusão (CATOIA, 2011).

De acordo com Costa (2009), na fabricação por extrusão, o concreto é empurrado para a pista pela máquina, de modo que é necessário apenas um estágio de lançamento e compactação do concreto. Os alvéolos formam-se pela compactação do concreto por tubos helicoidais. O concreto

utilizado nesse processo tem o seu *slump* baixo, ou seja, pouca presença de água em sua composição.

Existem variações quanto ao formato da seção transversal das lajes alveolares. As principais características que diferem cada tipo são: altura, largura, quantidade de cordoalhas e formato dos alvéolos, sendo que este é definido em função do tipo de máquina utilizada no processo produtivo.

2.3.2 Processo de montagem em obra

A montagem das lajes alveolares na obra é considerada a mais simples e rápida dentre os elementos pré-fabricados (PETRUCCELLI, 2009).

Some-se a isso a simplicidade de montagem. Segundo a empresa Tatu Pré-Moldados (2005), atuante no segmento, serviços como carpintaria, armação, além do recebimento, estoque, transporte e manuseio de todos os materiais envolvidos nessas etapas, são eliminados quase totalmente.

Geralmente quem faz a montagem das lajes é a própria empresa fabricante, disponibilizando até mesmo o guindaste para seu içamento. Depois de o caminhão chegar à obra, as lajes são içadas e posicionadas sobre as vigas previstas respeitando a medida de apoio, conforme o projeto estrutural.

Posteriormente à sua deposição nas vigas, há a necessidade de equalizar as lajes; para tanto, utiliza-se um sistema de torniquetes.

As juntas longitudinais devem ser preenchidas com concreto, graute ou argamassa. A tal procedimento se dá o nome de chaveteamento, cujo objetivo é efetivar a solidarização e a transmissão dos esforços cortantes entre as lajes (ABNT 2011).

A Tatu Pré-Moldados (2005) complementa que o chaveteamento estabelece uma colaboração entre as lajes, bem como uma redistribuição de cargas das mais carregadas para as menos carregadas, além de fornecer o acabamento e a estanqueidade necessária.

As lajes alveolares apresentam uma contraflecha natural quando protendidas, decorrente de suas características intrínsecas. Tal característica está diretamente interligada com o processo de cura da laje, o que não ocorre de forma igualitária ao longo do ano, em razão das variações térmicas e climáticas (CATOIA, 2011).

Por vezes, mesmo após a equalização, a superfície das lajes continua, mesmo que pouco, não homogênea. Essa não conformidade é oriunda das contraflechas. Para corrigir essas irregularidades

e otimizar as características estruturais das lajes, faz-se então o capeamento estrutural sendo esse procedimento recomendado para lajes de piso.

Todas as especificações sobre a armadura empregada na capa bem como a concretagem e método executivo devem constar em projeto (ABNT, 2011).

2.3.3 As Vantagens

Segundo Catoia (2011) e Petrucelli (2009), algumas vantagens das lajes alveolares podem ser citadas, como:

- Ampla gama de opções de utilização, tais como pisos, coberturas e paredes;
- Processo de produção altamente mecanizado e automatizado;
- Mão de obra específica, treinada e qualificada, mediante a repetitividade dos processos;
- Emprego de materiais controlados por ensaios laboratoriais;
- Possibilidade de vencer grandes vãos em razão de seu baixo peso próprio e fabricação com concretos de alta resistência aliados a alta taxa de protensão;
- Montagem simples e rápida em obra;
- Bom isolamento térmico e acústico.

2.3.4 As Desvantagens

Petrucelli (2009) apresenta como desvantagens:

- Inflexibilidade em alguns projetos, incompatíveis com a largura padrão, necessitando recortes;
- Resistência à flexão transversal limitada, uma vez que não apresenta armadura nesse sentido;
- Diferentes deformações;
- Demanda de equipamentos especiais para sua produção.

2.4 A LAJE MACIÇA DE CONCRETO

2.4.1 Definição e características do sistema

Araújo (2014) explica que as lajes maciças são placas de espessura uniforme, apoiadas ao longo do seu contorno. Os apoios podem ser constituídos por vigas ou por alvenarias, sendo este o tipo de laje predominante nos edifícios residenciais, onde os vãos são relativamente pequenos.

Pode-se entender como um sistema de estrutura convencional de concreto armado, uma vez que é constituído basicamente por lajes maciças, vigas e pilares, onde as lajes recebem os carregamentos decorrentes da sua utilização. Os carregamentos, oriundos de pessoas, móveis e equipamentos, são transmitidos para as vigas, que, por sua vez, descarregam nos pilares, e esses, às fundações (SPOHR, 2008).

Albuquerque (1999) salienta que as lajes maciças não podem vencer grandes vãos em virtude de seu peso próprio. É prática usual adotar-se como vão médio econômico das lajes um valor entre 3,5 m e 5 m.

Algumas características interessantes desse sistema podem ser citadas conforme expõe Spohr (2008):

- Grande consumo de fôrmas;
- Apresenta grande quantidade de vigas, formando muitos pórticos, que, por sua vez garantem boa rigidez à estrutura;
- Sistema estrutural muito utilizado nas construções de concreto armado, fato que conta com a facilidade em achar mão de obra treinada.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), as lajes maciças devem respeitar os seguintes valores limites mínimos para a espessura:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de 1/42 para lajes de piso biapoiadas e 1/50 para lajes de piso contínuas;

g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

2.4.2 As Vantagens

Como vantagens da utilização dos sistemas compostos por lajes maciças, Albuquerque (1999), Lopes (2012) e Nervo (2012) citam:

- Durante muito tempo foi o sistema estrutural de concreto armado mais empregado, consequentemente a mão de obra é bem treinada;
- Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços;
- Há existência de muitas vigas, que, por sua vez, formam vários pórticos, garantindo assim boa rigidez à estrutura de contraventamento;
- Facilidade no lançamento e adensamento do concreto;
- Depois de seco, o concreto torna-se um monobloco que dilata e contrai de maneira uniforme, tornando-se menos suscetível a trincas e fissuras.

2.4.3 As Desvantagens

Como desvantagens da utilização do sistema estrutural composto com lajes maciças, Albuquerque (1999), Lopes (2012) e Nervo (2012) citam:

- Demanda um alto consumo de fôrmas, escoras, concreto e aço;
- Elevado consumo de concreto para vencer grandes vãos;
- Os grandes números de recortes diminuem o reaproveitamento das fôrmas;
- Tempo de execução das fôrmas e do processo de desforma muito grandes
- Maiores reações nos apoios devido ao elevado peso próprio;
- Não apresenta boas características quanto ao desempenho acústico.

2.5 A LAJE TRELIÇADA PRÉ-MOLDADA

2.5.1 Definição e características do sistema

De acordo com Bastos (2015), as lajes treliçadas começaram a surgir na Europa com o propósito de ser uma opção mais econômica que as lajes maciças de concreto. Droppa Jr (1999) complementa que esse sistema estrutural muito contribuiu para a reconstrução dos países destruídos pela Segunda Grande Guerra, e para a grave crise habitacional consequente.

As lajes treliçadas no Brasil são utilizadas há mais de 25 anos, porém sua difusão, bem como seu crescimento ascendente, se deu por meados da década de 1990 (DROPPA JR, 1999).

Droppa Jr (1999) caracteriza este sistema estrutural como sendo uma estrutura monolítica, em função da grande solidarização da armadura com o concreto moldado no local.

As lajes treliçadas podem ser classificadas como unidirecionais ou bidimensionais.

A norma que trata sobre as lajes unidirecionais é a NBR 14869-1 (ABNT, 2002a), que as conceitua como constituídas por nervuras principais longitudinais dispostas em uma única direção. Podem ser empregadas algumas nervuras transversais perpendiculares às nervuras principais para fazer o travamento lateral.

Em se tratando de lajes bidimensionais, deve-se atender aos preceitos estipulados pela NBR 14859-2 (ABNT 2002b), que as conceitua como constituídas por nervuras principais nas duas direções, com espaçamentos regulares entre si.

Conforme relata Nervo (2012), em princípio, estas lajes têm o mesmo funcionamento estrutural de uma laje projetada da forma convencional (maciças de concreto), todavia o emprego dos elementos pré-moldados proporciona racionalização na sua execução, dando à obra, de modo geral, atributos como rapidez e economia.

Os componentes constituintes desse sistema de laje basicamente são as vigotas treliçadas e os elementos de enchimento.

As vigotas treliçadas são constituídas por uma armadura em forma de treliça, cujo banzo inferior é envolto por uma placa de concreto estrutural de boa resistência e fácil manuseio. Com a presença do concreto complementar, vão se formar as nervuras longitudinais da laje (NAKAO *et al.*, 2005).

Bastos (2015) salienta que as vigotas, em conjunto com a capa de concreto, fornecem a resistência necessária à laje, atuando para resistir aos momentos fletores e às forças cortantes. Elas também servem como apoio aos blocos cerâmicos ou de isopor (poliestireno expandido - EPS). As vigotas treliçadas constituem as nervuras principais da laje treliça.

Nakao *et al.* (2005) esclarece que os elementos de enchimento são componentes pré-fabricados com materiais inertes diversos. Podem ser maciços ou vazados, destacando-se na construção civil brasileira o emprego dos blocos cerâmicos (conhecidos também por telas cerâmicas) e o EPS. Esses componentes têm a função de reduzir o volume de concreto, consequentemente o peso próprio da laje diminui, além de servir como fôrma para o concreto complementar.

Albuquerque (1999) refere que esses materiais são leves, não tendo função estrutural. A solidarização é feita com a concretagem da capa juntamente com as nervuras.

As lajes treliçadas têm sua altura variando entre 10 cm e 30 cm, com vãos usuais de 4 m a 7 m, podendo chegar a vãos de até 12 m (ALBUQUERQUE, 1999).

2.5.2 As Vantagens

O emprego das lajes treliçadas proporciona algumas vantagens, de acordo com Bastos (2015) e Droppa Jr (1999):

- Opção mais econômica quando comparadas com as lajes maciças de concreto;
- Redução na quantidade de escoramentos, logo há um ganho em economia de mão de obra e materiais;
- Possibilidade de vencer grandes vãos;
- Pela grande aderência do concreto de capeamento com as vigotas, é menor a possibilidade de ocorrência de fissuras;
- Menor peso próprio;
- Não demanda tanta mão de obra para sua execução, quando comparadas com as lajes maciças.

2.5.3 As Desvantagens

Nas diversas bibliografias e artigos consultados, houve dificuldade em encontrar citações como desvantagens da utilização do sistema treliçado. Desse modo, sintetizou-se de Muniz (1991) apud Droppa Jr. (1999), as principais desvantagens:

- Aumentam as dificuldades de compatibilização com outros subsistemas (instalações, vedação, entre outros);
- Os elementos de enchimento podem se movimentar durante a concretagem;
- A disposição das nervuras, uma vez que nem sempre é possível projetar uma modulação única para o pavimento todo.

2.6 A DETERMINAÇÃO DE CUSTOS

A palavra “custo” norteia todo o conceito de viabilidade econômica de um empreendimento. Dentre os vários tipos de custos existentes, Vasconcellos e Garcia (2008) definem custo total de produção como sendo o total das despesas realizadas pela firma ou empreendedor, usando-se das combinações mais econômicas dos fatores, obtendo-se determinada quantidade de produto.

É notório que uma empresa ou empreendedor busque sempre a maximização de seus resultados dentro de sua atividade produtiva. Vasconcellos e Garcia (2008) nos afirma que a otimização dos resultados poderá ser obtida quando um dos dois preceitos forem atingidos, são eles:

- a) Maximizar a produção para um dado custo total;
- b) Minimizar o custo total para um dado nível de produção.

Um fator interessante dentro da composição dos custos que geralmente não é considerado, diz respeito ao custo de oportunidade, a qual será dado maior enfoque posteriormente. De maneira geral, são custos implícitos no processo, que não caracterizam em um primeiro momento o desembolso monetário.

2.6.1 Custos Variáveis Totais

Também denominados de custos diretos, estão relacionados com a parcela dos custos totais que dependem da produção, ou seja, representam as despesas obtidas com os fatores variáveis de produção. Pode-se citar como por exemplo os gastos com matéria prima, folhas de pagamento, etc. (VASCONCELLOS e GARCIA, 2008).

Essa parcela de custos totais varia em função do volume produzido.

2.6.2 Custos Fixos Totais

Para Vasconcellos e Garcia (2008), estes correspondem à parcela dos custos totais que independem da produção. São decorrentes dos gastos com fatores fixos de produção. Portanto não importa o quanto for produzido de produtos, à venda de mercadorias ou prestações de serviços, tais custos continuarão a serem os mesmos.

Como ilustração podemos imaginar uma empresa a qual realiza suas atividades em um local alugado, logo, se a mesma produzir um total de “x” ou “y” de unidades, o valor com o aluguel ali permanecerá o mesmo.

2.6.3 Custos de Oportunidade

O custo de oportunidade está relacionado com as decisões tomadas e o tempo empreendido sobre uma determinada coisa. Tudo está intimamente relacionado com as escolhas que um indivíduo há de tomar e se estas são as melhores alternativas a serem adotadas levando-se em consideração o tempo e os recursos gastos.

Do ponto de vista econômico, os custos de oportunidade são custos implícitos, os quais são estimados a partir do que poderia ser ganho no melhor uso alternativo dos recursos (VASCONCELLOS e GARCIA, 2008).

Um exemplo de fácil compreensão e corriqueiro que pode ser mencionado se diz respeito à compra de imóveis como bem de investimento. Talvez por questões culturais ou até mesmo falta de conhecimentos econômicos, não permitem ao indivíduo discernir se este de fato é o melhor meio de

somar ao seu patrimônio, uma vez que se o mesmo investisse em algum título público por exemplo, poderia ser a opção mais vantajosa do ponto de vista econômico.

Para os economistas, cada decisão é temperada pelo conhecimento daquilo de que se deve abrir mão para fazer o que se deseja. Sabendo exatamente o que está recebendo e o que está deixando de lado, pode-se tomar decisões mais racionais e embasada (CONWAY, 2015).

3. METODOLOGIA

Para a realização de um trabalho sólido e coerente, deve-se ter como alicerce uma revisão bibliográfica bem fundamentada. Para Cervo e Bervian (2002, p.66), a pesquisa bibliográfica constitui parte da pesquisa descritiva ou experimental, quando é feita com o intuito de recolher informações e conhecimentos prévios acerca de um problema, para o qual se procura resposta ou acerca de uma hipótese que se quer experimentar; e complementam: “sendo um meio de formação por excelência e constitui o procedimento básico para estudos monográficos, pelos quais se busca o domínio do estado da arte sobre determinado tema”.

Neste projeto de pesquisa, utilizou-se do método comparativo, definido por Andrade (2010) como a realização de comparações com a finalidade de verificar semelhanças e explicar divergências. O método comparativo é usado tanto para comparações de grupos no presente, no passado, ou entre os existentes e os do passado, quanto entre sociedades de iguais ou de diferentes estágios de desenvolvimento.

Outra parte fundamental é a análise dos dados que serão levantados, os quais devem ser organizados sistematicamente para que possibilitem o fornecimento de respostas ao problema de investigação (GIL, 1999).

De posse de todos os dados e informações necessárias e pertinentes ao estudo proposto, será feita a análise de viabilidade econômica, utilizando-se tabelas e recursos gráficos para melhor compreensão, tendo em vista o pressuposto de Hirschfeld (2000): para que haja viabilidade econômica, os benefícios resultantes dos instantes verificados deverão ser superiores aos custos empregados.

Tratou-se de uma análise de custos dos sistemas estruturais de lajes já abordadas anteriormente, realizado a partir do projeto de um edifício comercial, localizado na cidade de Cascavel-PR, projeto este cedido pela empresa Diarc Engenharia, como descrito anteriormente.

Foram também analisadas outras alternativas estruturais de lajes para o edifício, que, em sua concepção, fora edificado com lajes alveolares protendidas. Portanto, de acordo com Cervo e Bervian (2002), trata-se de uma pesquisa do tipo quantitativa experimental, uma vez que o estudo a ser realizado interfere diretamente na realidade, manipulando-se a variável independente a fim de observar o que acontece com a dependente.

As informações sobre o projeto bem como a composição dos custos serão obtidas com os engenheiros da empresa Diarc Engenharia.

O estudo de caso desta pesquisa foi realizado em um edifício comercial de dois pavimentos, que se localiza na cidade de Cascavel, região oeste do Estado do Paraná. O espaço contém quatro salas administrativas na parte térrea, as quais totalizam uma área de 310,55 m². No piso superior, consta área de lazer, sala de treinamentos, almoxarifados, entre outros, totalizando uma área de 246,33 m². No edifício em questão, as lajes alveolares encontram-se no primeiro pavimento. A área total da edificação é de 556,88 m², ressaltando que a obra em questão já foi edificada.

Os dados referentes à edificação foram coletados juntamente com a empresa responsável, com acesso ao projeto. Para o auxílio no desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se de artigos, revistas, normas técnicas, dissertações de mestrado e teses de doutorado, pesquisas em livros e em sites da internet.

Para levantar quantitativamente os insumos empregados para a futura composição de custos, foi utilizado o *software* de cálculo estrutural Eberick V8.

O principal objetivo desta pesquisa foi o de realizar uma análise comparativa de custos entre o emprego de estruturas de laje maciça de concreto e laje pré-moldada treliçada, muito usuais na construção civil brasileira, com a solução empregada no edifício.

O procedimento, *a priori*, seguirá as seguintes prescrições:

- Descrição dos elementos estruturais e materiais utilizados;
- Dimensionamento das lajes maciças de concreto e lajes treliçadas, pelo *software* de cálculo estrutural Eberick V8;
- Verificação do consumo de insumos requeridos pelas duas lajes;
- Levantamento dos custos por meio da composição unitária;

- Comparação da viabilidade econômica das lajes relacionando-as com as alveolares protendidas;
- Análise final e conclusões.

De posse dos insumos requeridos, realizou-se uma análise de dados com o intuito de obter parâmetros de viabilidade econômica entre os tipos de lajes. Para tanto, para compor os custos, o autor contará com o auxílio da Tabela de Composições de Preços para Orçamentos – TCPO (PINI, 2010), como também do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), a fim de levantar os custos dos insumos.

Os resultados obtidos foram retratados em gráficos de consumo para cada sistema estrutural empregado, dando subsídio para que se possa realizar uma comparação com a alternativa originalmente adotada.

Vale ressaltar que os quantitativos, bem como o custo total com a proposta empregada na edificação, foram fornecidos pela empresa responsável (Diarç Engenharia), servindo como base de comparação sobre viabilidade econômica para as outras propostas de lajes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para que se pudesse chegar ao resultado mais fidedigno possível, os elementos estruturais foram dimensionados de acordo com as configurações adotadas no projeto original. Portanto, procurou-se manter as mesmas dimensões para pilares e vigas, sendo que, para a última, apenas a altura variava, de acordo com o vão em questão.

Adotou-se a resistência do concreto como sendo de 30 MPa na totalidade da estrutura, ou seja, para pilares, vigas e lajes, de acordo com o projeto estrutural original.

Os cobrimentos mínimos para as armaduras são determinados em função da classe de agressividade na qual a obra está inserida. Nesse caso, trata-se de um edifício enquadrado na classe de agressividade II, sendo considerada moderada. Os valores mínimos estão estipulados na Tabela 7.2 da NBR 6118 (2014), os quais foram atendidos nos critérios de dimensionamento.

Com relação as cargas presentes na estrutura, utilizou-se:

Para a estrutura exceto garagem:

- Carga accidental: 2,0 kN/m²;
- Cargas de revestimento: 2,75 kN/m²;

Para garagem:

- Carga accidental: 5,0 kN/m²;
- Cargas de revestimento: 2,75 kN/m².

O aço utilizado para esta análise foi o CA-50 e CA-60.

4.1.DIMENSIONAMENTO DAS LAJES MACIÇAS E LAJES TRELIÇADAS PELO SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUTURAL EBERICK V8

Com o avanço tecnológico na área computacional, surgiram *softwares* cujos quais auxiliam o profissional engenheiro no cálculo de estruturas. Isso foi um avanço muito grande tratando-se de qualidade e eficiência na arte de se projetar. O elevado tempo antes empreendido para se calcular uma estrutura a mão, passível de diversos erros, quase não é mais praticado.

Um desses *softwares* é o Eberick. Desenvolvido pela empresa AltoQI, é um programa para projeto estrutural de concreto armado moldado *in-loco* e concreto pré-moldado, englobando as etapas de lançamento, análise da estrutura, dimensionamento e o detalhamento final dos elementos.

O Eberick trabalha com um sistema gráfico de entrada de dados associado à análise da estrutura em um pórtico espacial, bem como outros recursos valiosos de dimensionamento e detalhamento alicerçados na NBR 6118 (ABNT, 2014), que fundamentam as tomadas de decisões do engenheiro de estruturas.

O programa atualmente está em sua décima versão (Eberick V10), porém, neste trabalho, utilizou-se o Eberick V8 Gold.

4.2 READEQUAÇÃO ESTRUTURAL

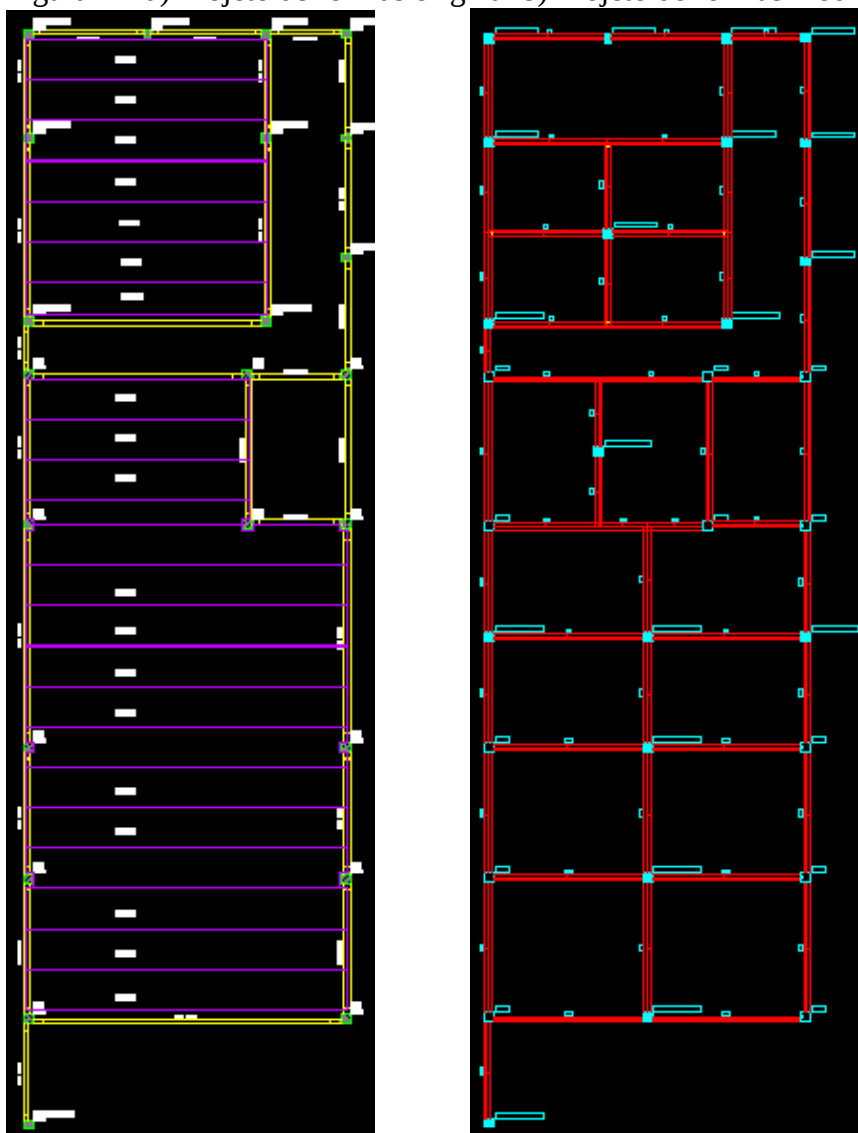
As lajes alveolares protendidas de concreto possuem uma característica a ser destacada: a capacidade de vencer grandes vãos. Por isso, fez-se necessária uma readequação da estrutura, de modo a possibilitar o lançamento das lajes maciças e treliçadas.

Este estudo para a remodelagem da estrutura foi efetuado pelo autor, sob orientação e conferência do engenheiro de estruturas da empresa Diarc Engenharia.

A remodelagem estrutural foi efetuada de modo a atender às necessidades de ambos os tipos de laje; assim, procurou-se com este modelo possibilitar uma visão mais igualitária e justa para a futura análise. Os vãos compreendidos na estrutura chegam a no máximo 5m, o que, para Spohr (2008), configura como um bom valor para as lajes maciças.

As mudanças mais significativas ocorreram no térreo e no primeiro pavimento. No primeiro, foram inseridos pilares; já no segundo, as vigas, que delimitariam as lajes. O antes e o depois da readequação podem ser observados através da Figura 1, bem como as faixas em roxo que mostram a disposição das lajes alveolares; neste caso, chegando a vencer vãos de 9,90m.

Figura 1 – a) Projeto de formas original b) Projeto de formas modificado



Fonte: Autor (2016)

4.3 VERIFICAÇÃO DO CONSUMO DE INSUMOS REQUERIDOS PARA AS DUAS LAJES

4.3.1 Sistema 1: Lajes Maciças

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para o sistema de lajes maciças e, em seguida, as Tabelas 2 e 3 retratam o consumo requerido pelos elementos estruturais adicionais (pilares e vigas). Com o intuito de facilitar a visualização, a Tabela 4 traz uma compilação de todos os resultados obtidos para o Sistema 1.

Tabela 1 – Resumo dos quantitativos de materiais das lajes maciças

RESUMO	LAJES MACIÇAS						
	Aço	Diam (mm)	C. Total (m)	Peso + 10% (kg)	Peso total (kg)	Vol. Concreto (m³)	Área de fôrma (m²)
	CA 50	6,3	376,5	101,4	1438,6	22,75	227,5
		8,0	825,9	358,5			
		10,0	833,4	565,2			
		12,5	390,2	413,5			
	CA 60	5,0	2133,6	361,7	361,7		
Laje maciça h = 10cm							
Área da laje = 227,26 m²							

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 2 – Resumo dos quantitativos das vigas adicionais do Sistema 1

RESUMO							
	Aço	Diam (mm)	C. Total (m)	Peso + 10% (kg)	Peso total (kg)	Vol. Concreto (m³)	Área de fôrma total (m²)
	CA50	6,3	119,9	32,3	426,9	8,2	98,0
		8,0	133,5	58,0			
		10,0	196,7	133,5			
		12,5	137,5	145,7			
		16,0	12,4	21,6			
		20,0	13,2	35,8			
	CA60	5,0	582,2	98,8	98,8		

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 3 – Resumo dos quantitativos dos pilares adicionais do Sistema 1

RESUMO							
	Aço	Diam (mm)	C. Total (m)	Peso + 10% (kg)	Peso total (kg)	Vol. Concreto (m³)	Área de fôrma total (m²)
	CA50	10,0	76,5	51,8	132,8	2,80	36,96
		12,5	76,5	81,0			
	CA60	5,0	354,6	59,8	59,8		

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 4 – Insumos totais utilizados no Sistema 1

	Volume de concreto	Aço (Kg)		Área de fôrmas
	(m³)	CA-50	CA-60	(m²)
VIGAS	8,2	426,9	98,8	98
PILARES	2,8	132,8	59,8	36,96
LAJES	22,75	1438,6	361,7	227,5
TOTAL	33,75	1998,3	520,3	362,46

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

4.3.2 Sistema 2: Lajes Trelaçadas

De igual forma, os resultados obtidos para as lajes trelaçadas serão exibidos a seguir. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para o sistema de lajes trelaçadas, seguidos pelos consumos requeridos pelas vigas e pilares adicionais (Tabela 6 e Tabela 7). O resumo total para o Sistema 2 pode ser visualizado através da Tabela 8.

Tabela 5 – Resumo dos quantitativos de materiais das lajes trelaçadas

RESUMO	LAJES TRELAÇADAS						
	Aço	Diam (mm)	C. Total (m)	Peso + 10% (kg)	Peso total (kg)	Vol. Concreto (m³)	Área de fôrma (m²)
	CA 50	6,3	532,0	143,2	263,6	16,13	0
		8,0	172,0	74,7			
		10,0	67,4	45,7			
	CA 60	5,0	695,1	117,8	117,8		
Laje pré-moldada trelaçada h = 20cm							
Área da laje = 227,26 m²							

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 6 – Resumo dos quantitativos das vigas adicionais do Sistema 2

RESUMO							
	Aço	Diam (mm)	C. Total (m)	Peso + 10% (kg)	Peso total (kg)	Vol. Concreto (m³)	Área de fôrma total (m²)
	CA50	6,3	122,1	32,9	442,3	8,21	97,96
		8,0	193,3	83,8			
		10,0	244,6	165,9			
		12,5	60,5	64,1			
		16,0	41,0	71,2			
		20,0	9,0	24,4			
	CA60	5,0	585,0	180,2	180,2		

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 7 – Resumo dos quantitativos dos pilares adicionais do Sistema 2

RESUMO							
	Aço	Diam (mm)	C. Total (m)	Peso + 10% (kg)	Peso total (kg)	Vol. Concreto (m³)	Área de fôrma total (m²)
	CA50	10,0	61,2	41,4	138,6	2,80	36,96
		12,5	129,6	97,2			
	CA60	5,0	354,6	59,8	59,8		

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 8 – Insumos totais utilizados no Sistema 2

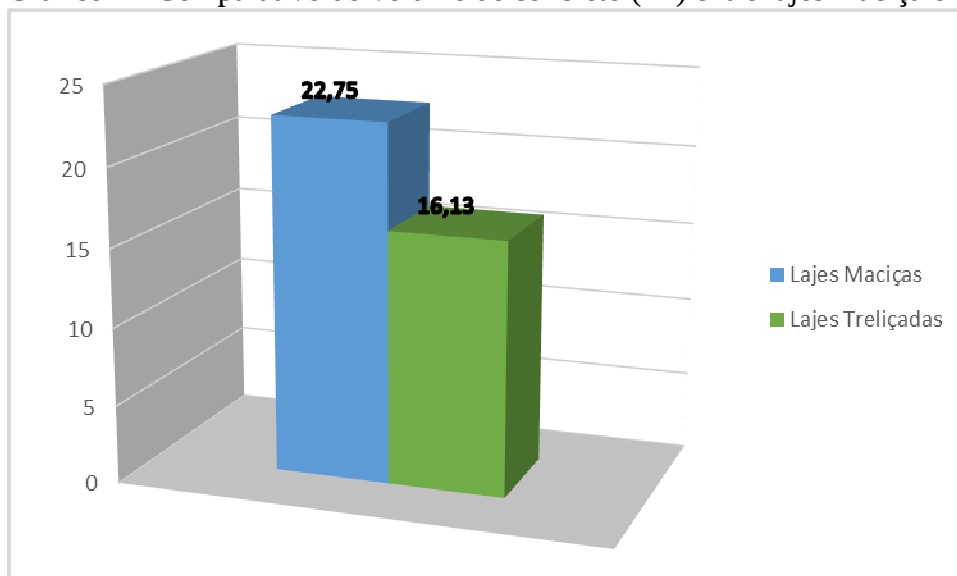
	Volume de concreto	Aço (Kg)		Área de fôrmas
	(m³)	CA-50	CA-60	(m²)
VIGAS	8,91	442,3	180,2	97,96
PILARES	2,8	138,6	59,8	36,96
LAJES	16,13	263,6	117,8	0
TOTAL	27,84	844,5	357,8	134,92

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

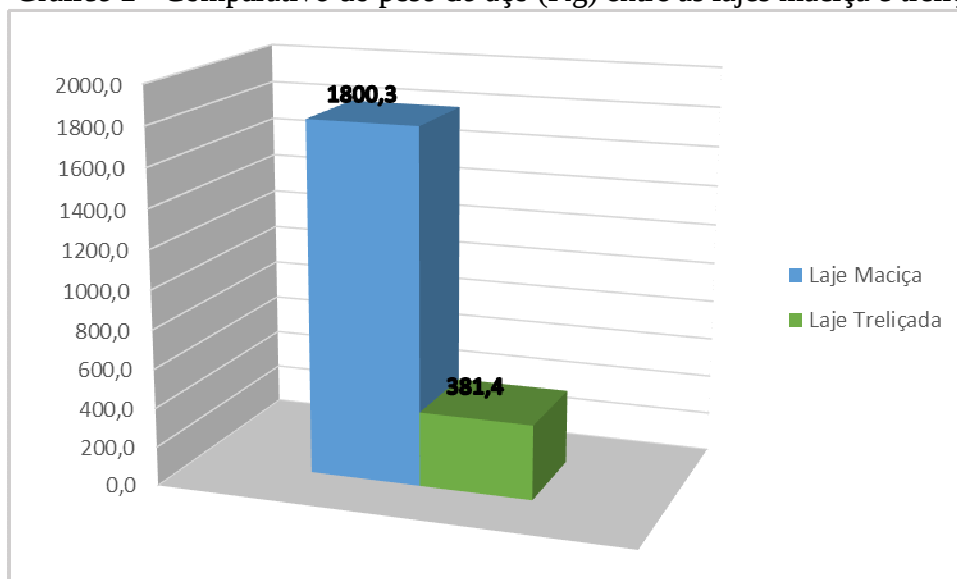
Com o objetivo de obter uma visualização mais intuitiva dos materiais requeridos, serão exibidos gráficos comparativos, em primeiro momento, apenas para as lajes (Gráficos 1, 2 e 3).

Gráfico 1 - Comparativo do volume de concreto (m³) entre lajes maciça e treliçada



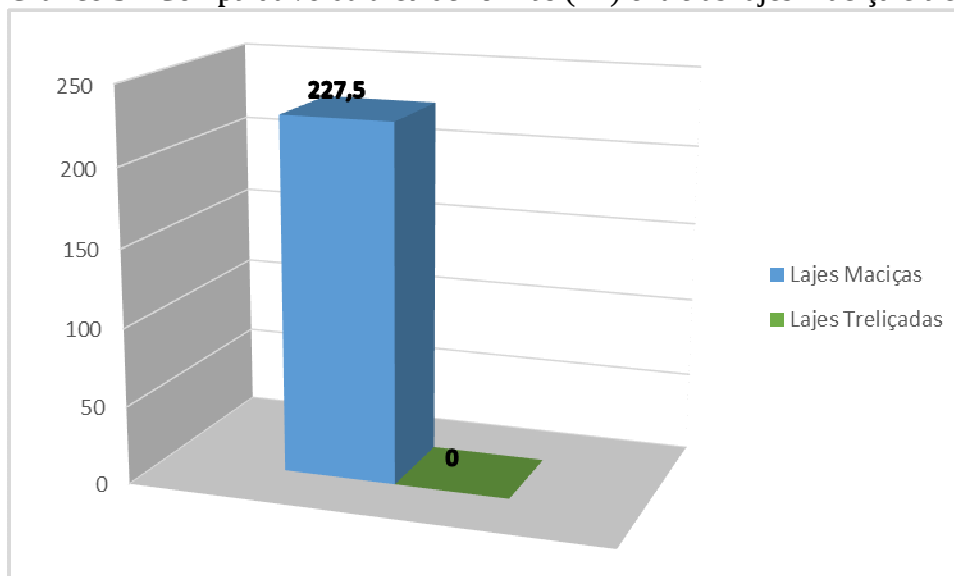
Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Gráfico 2 - Comparativo do peso do aço (Kg) entre as lajes maciça e treliçada



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Gráfico 3 - Comparativo da área de fôrmas (m²) entre as lajes maciça e treliçada



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Um fato pertinente que merece destaque é com relação às fôrmas das lajes treliçadas. Aqui cabe lembrar que o conjunto vigota + elemento de enchimento constitui a base para o lançamento do concreto; em outras palavras, a fôrma propriamente dita. Logo, para as lajes treliçadas, faz necessário apenas a utilização dos escoramentos.

Demonstra-se através da Tabela 10 o comparativo dos materiais, bem como suas porcentagens. Cabe ressaltar que tal comparativo foi efetuado analisando o sistema como um todo, isto é, lajes, vigas e pilares. O Gráfico 4 retrata os dados contidos na Tabela 10, comparando de forma intuitiva a relação em porcentagem dos dois Sistemas.

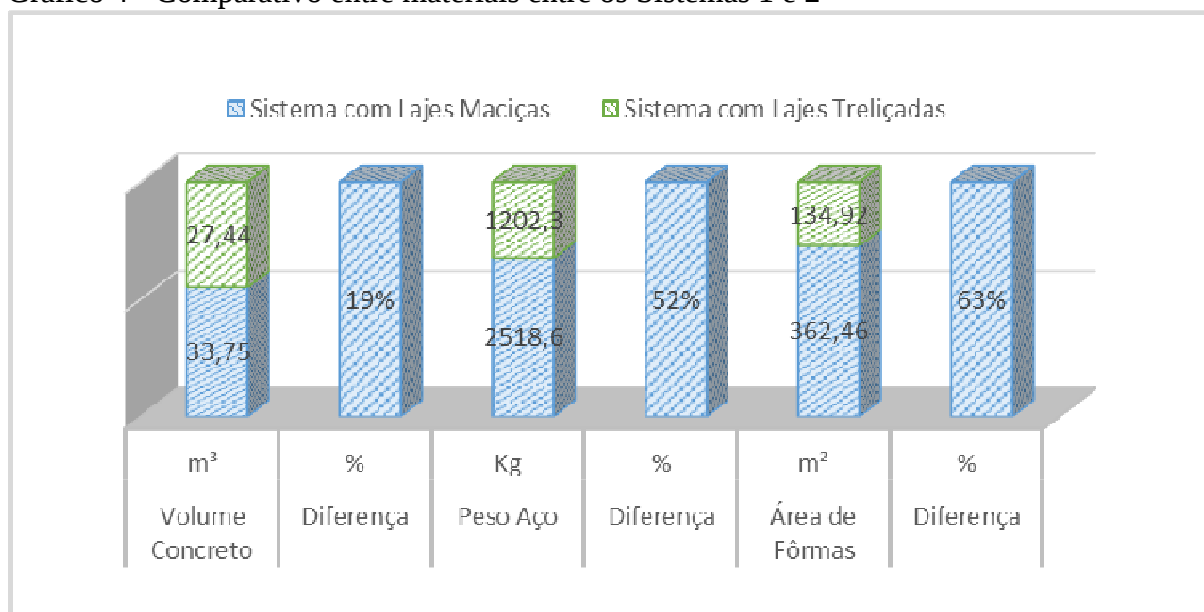
Tabela 9 – Comparativo percentual entre os materiais dos dois Sistemas

Sistema Estrutural	Volume Concreto		Peso Aço		Área de Fôrmas	
	m ³	%	Kg	%	m ²	%
Sistema com Lajes Maciças	33,75	100%	2518,6	100%	362,46	100%
Sistema com Lajes Treliçadas	27,44	81%	1202,3	48%	134,92	37%

- Adotado valor de referência = 100%

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Gráfico 4 - Comparativo entre materiais entre os Sistemas 1 e 2



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

4.5 LEVANTAMENTO DOS CUSTOS POR MEIO DA COMPOSIÇÃO UNITÁRIA

4.5.1 Especificações adotadas para o cálculo dos custos

Para o levantamento dos custos, utilizou-se de composições usuais para os serviços considerados, os quais foram retirados da “Tabela de Composições de Preços para Orçamentos” – TCPO (PINI, 2010).

Esta ferramenta é de grande valia no auxílio para a elaboração de um orçamento. Nela, estão contidos índices de consumo de materiais e mão de obra para a execução de uma determinada atividade específica; todavia, a TCPO (PINI, 2010) não apresenta os custos dos insumos.

Os custos para as composições foram obtidos de modo unitário através do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, para o estado do Paraná, a partir da última versão disponível (julho de 2016).

De modo geral, cabe salientar que não estão inclusos nessa composição os custos referentes aos blocos de fundação, uma vez que, para determiná-los, seria necessária uma análise do terreno através de investigações geotécnicas. O cálculo dos custos considerou apenas as composições para

os serviços propriamente ditos, de modo que os serviços preliminares como limpeza do terreno, instalação de canteiro de obras etc não se incluem.

Note que, até aqui, o Capítulo 4 não vem tratando das lajes alveolares, isto porque, como já mencionado, fez-se necessário um levantamento de subsídios objetivando-se uma futura análise de viabilidade econômica dos outros dois sistemas de lajes com a mesma.

4.5.2 Custos do Sistema 1: Lajes maciças

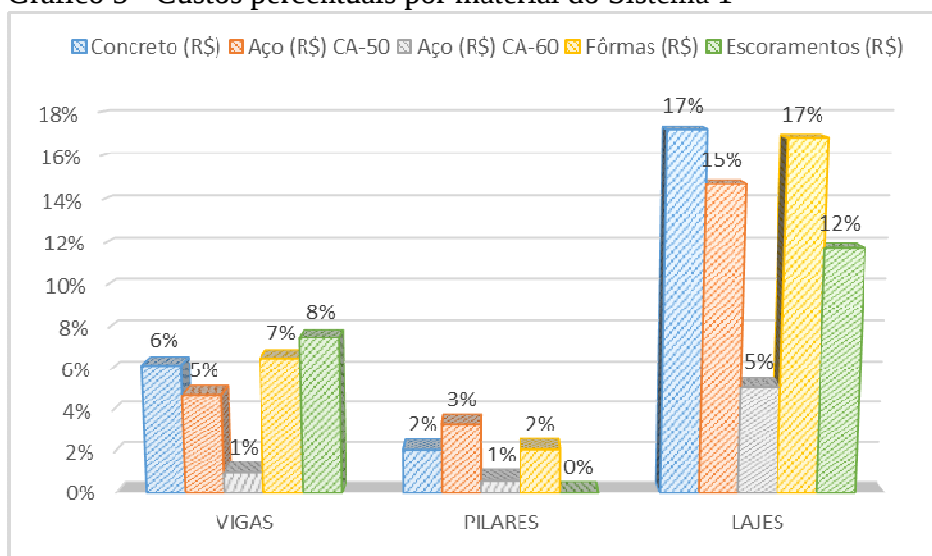
Os valores obtidos com o Sistema 1, bem como o valor total da estrutura são retratados através da Tabela 10. Pode ser visto através do Gráfico 5 o custo percentual por material utilizado.

Tabela 1 - Custos totais com o Sistema 1: lajes maciças

	Concreto (R\$)	Aço (R\$)		Fôrmas (R\$)	Escoramentos (R\$)
		CA-50	CA-60		
VIGAS	R\$ 3.410,51	R\$ 2.641,49	R\$ 553,07	R\$ 3.599,50	R\$ 4.145,45
PILARES	R\$ 1.164,72	R\$ 1.854,75	R\$ 334,81	R\$ 1.180,45	0
LAJES	R\$ 9.462,11	R\$ 8.102,44	R\$ 2.844,27	R\$ 9.260,66	R\$ 6.458,48
TOTAL	R\$ 14.037,34	R\$ 12.598,68	R\$ 3.732,15	R\$ 14.040,61	R\$ 10.603,93
TOTAL DA ESTRUTURA		R\$ 55.012,71			

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Gráfico 5 - Custos percentuais por material do Sistema 1



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

4.5.3 Custos do Sistema 2: Lajes treliçadas

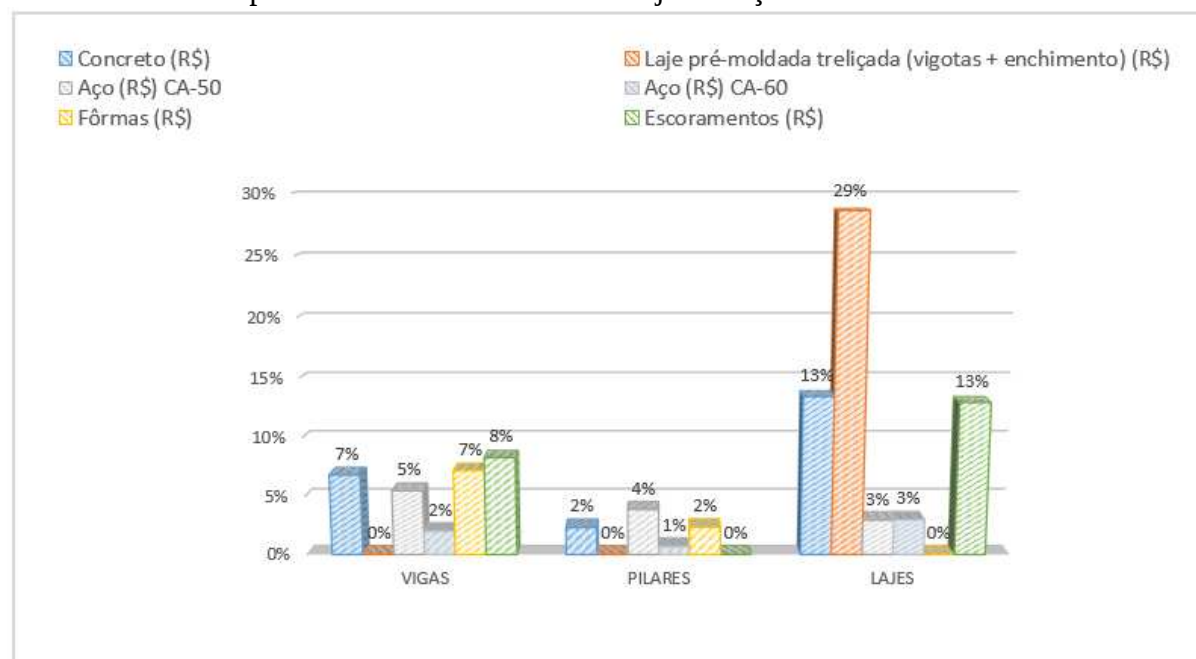
Os valores obtidos com o Sistema 2 e o valor total da estrutura podem ser vistos através da Tabela 11. O Gráfico 6 mostra o custo percentual por material utilizado.

Tabela 2 - Custos totais com o Sistema 2: lajes treliçadas

	Concreto (R\$)	Laje pré-moldada treliçada (vigotas + enchimento)	Aço (R\$)		Fôrmas (R\$)	Escoramentos (R\$)
			CA-50	CA-60		
VIGAS	R\$ 3.414,38	0	R\$ 2.736,73	R\$ 1.008,33	R\$ 3.598,04	R\$ 4.143,73
PILARES	R\$ 1.164,72	0	R\$ 1.935,62	R\$ 343,81	R\$ 1.180,45	0
LAJES	R\$ 6.708,35	R\$ 14.287,21	R\$ 1.484,64	R\$ 1.498,23	0	R\$ 6.458,48
TOTAL	R\$ 11.287,45	R\$ 14.287,21	R\$ 6.156,99	R\$ 2.850,37	R\$ 4.778,49	R\$ 10.602,21
TOTAL DA ESTRUTURA	R\$					49.962,72

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Gráfico 6 - Custos percentuais com o Sistema 2: lajes treliçadas



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

4.5.4 Custos do Sistema 3: Lajes alveolares

Na Tabela 12, são expostos os custos envolvendo o sistema com lajes alveolares. Cabe salientar que não estão incluídos gastos com material – como aço, concreto etc – mas sim a

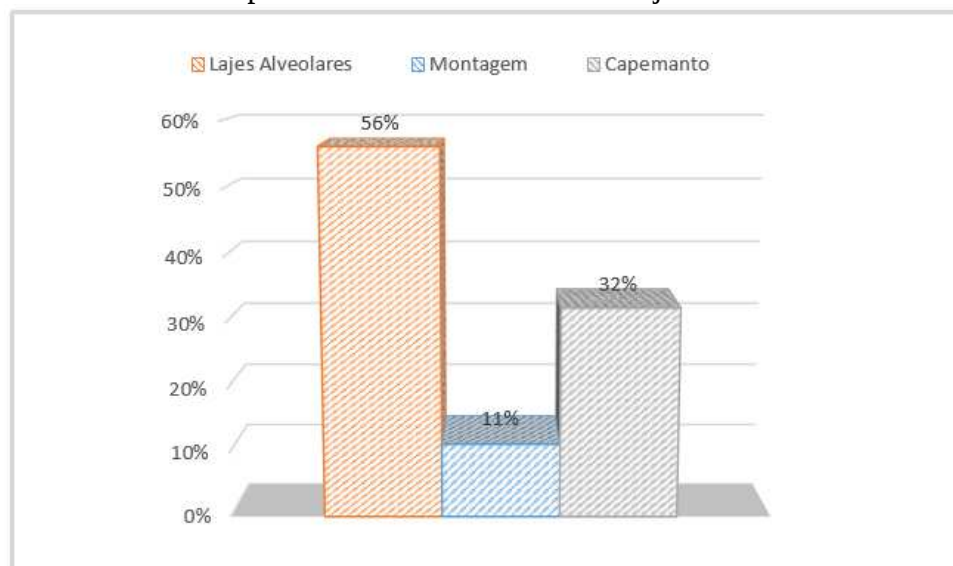
composição final dos serviços. Esses dados foram levantados junto à empresa Diarc Engenharia e Pré-Fabricados Ltda. O Gráfico 7 expõe o percentual dos custos envolvendo o Sistema 3.

Tabela 3 - Custos totais com o Sistema 3: lajes alveolares

LAJES ALVEOLARES (R\$)	Montagem (R\$)	Capeamento (R\$)
R\$ 35.120,00	R\$ 7.103,20	R\$ 20.151,00
TOTAL DA ESTRUTURA		R\$ 62.374,20

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Gráfico 7 - Custos percentuais com o Sistema 3: lajes alveolares



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

4.6 ESTIMATIVA DE TEMPO DE EXECUÇÃO

Como um requisito complementar, optou-se por realizar um comparativo quanto ao tempo de execução dos três sistemas. Esse comparativo leva em conta as quantidades de horas necessárias para oficial e ajudante, baseados nos índices da TCPO.

Aqui cabe salientar que o tempo de execução é muito relativo, uma vez que caminha paralelamente com a quantidade de mão de obra que está sendo empregada. Neste caso, como se trata de uma ilustração hipotética, considerou-se para os Sistemas 1 e 2:

Oficiais:

- 2 pedreiros;
- 1 armador;
- 1 Carpinteiro.

Ajudantes:

- 2 serventes de pedreiro;
- 1 auxiliar de armador;
- 1 auxiliar de carpinteiro.

Essa configuração não se aplica para o sistema envolvendo as lajes alveolares por se tratar de uma concepção de serviços diferentes. Geralmente, o contratante de uma empresa de pré-fabricados não adquire apenas os elementos estruturais desejados, mas também sua instalação em obra. Logo, a empresa contratada possui sua própria equipe de montagem, peculiar para cada etapa de serviços.

Quanto à composição do tempo para o Sistema 3 (lajes alveolares), foi utilizado o tempo real envolvido na instalação das lajes, valor esse também obtido com a empresa responsável.

As Tabelas 13, 14 e 15 mostram, para cada respectivo Sistema, a estimativa do tempo de execução. Considerando uma jornada de trabalho de 8,8 horas/dia, cinco dias por semana, sem interrupção dos trabalhos por intempéries climáticas e feriados, obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 4 – Tempo necessário à execução do Sistema 1

	Oficial	Ajudante
	Horas	Horas
Sistema 1: lajes maciças	911,3	687,34
TOTAL EM SEMANAS	5,18	

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 5 - Tempo necessário à execução do Sistema 2

	Oficial	Ajudante
	Horas	Horas
Sistema 2: lajes treliçadas	561,8	760,35
TOTAL EM SEMANAS	3,19	

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 6 - Tempo necessário à execução do Sistema 3

	Montagem	Capeamento e cura
	Dias	Dias
Sistema 3: lajes alveolares	2	7
TOTAL EM SEMANAS	1,28	

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer da elaboração deste trabalho, pode-se perceber o quanto os sistemas de lajes diferem-se entre si, cada qual com suas peculiaridades. Em razão disso, a análise de viabilidade econômica não deve se ater apenas ao consumo de materiais, mas abrangendo em um contexto global todas as características relevantes ao processo construtivo, como: tempo de execução, mão de obra empregada, recursos e materiais necessários.

A utilização de tabelas objetivou expor ao leitor de forma clara todas as etapas compreendidas, desde o levantamento de subsídios como a composição final dos custos. Também foram expostos gráficos cujo intuito era o de expressar os resultados obtidos de forma mais intuitiva e de fácil compreensão.

Foi interessante notar que o custo total envolvendo as lajes alveolares foi maior do que os sistemas envolvendo as lajes maciças e treliçadas, acrescidos dos respectivos valores dos elementos estruturais adicionais. O custo com as lajes alveolares foi cerca de 12% maior para o sistema de lajes maciças e 20% para as lajes treliçadas; todavia, o custo sozinho nesse caso não pode ser tomado como o fator norteador para a viabilidade econômica.

É notório que o custo quanto ao emprego das lajes alveolares foi maior, porém, o Custo de Oportunidade entra em cena para questionar se esses resultados, em um primeiro momento, são de fato os mais verdadeiros, ainda mais se tratando de um edifício comercial como nesse caso.

Com o emprego das lajes alveolares, seriam eliminados os serviços de armação, carpintaria, revestimentos e estocagem, favorecendo, como já dito, o canteiro de obras com uma logística mais precisa.

Sua capacidade de vencer grandes vãos é uma vantagem que merece destaque em virtude de reduzir sensivelmente a presença de elementos estruturais necessários à sua implementação, favorecendo também a arquitetura e a estética. Em consequência disso, propicia-se ter mais liberdade para realizar a modelagem dos ambientes internos, bem como futuras reformas.

Todavia, o fator mais evidente se dá em âmbito temporal. Se tomarmos o tempo de execução para análise, percebe-se que as lajes alveolares são muito mais rápidas que as demais aqui comparadas; logo, o quão antes o edifício for concluído, mais rapidamente o proprietário começará a obter lucro.

A escolha da alternativa estrutural a ser adotada depende de muitas variáveis. Por isso, é necessário sintonia entre contratante e os profissionais responsáveis, de modo a optar pela opção mais vantajosa para uma determinada realidade, tendo como alicerce o Custo de Oportunidade.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A.T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. 1999. Disponível em
<http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1999ME_AugustoTeixeiradeAlbuquerque.pdf>
Acesso 16 maio de 2016.

ANDRADE, M. M. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 10.ed. São Paulo: Atlas, 2010.

ARAÚJO, J.M. **Curso de concreto armado**. 4 ed. v.4. Rio Grande: Dunas 2014.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 6118:2014 versão corrigida**: requisitos básicos exigíveis para o projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, excluídas aquelas em que se empregam concreto leve, pesado ou outros especiais. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 14859-1**: laje pré-fabricada – requisitos – parte 1: lajes unidirecionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2002a.

_____. **NBR 14859-2**: laje pré-fabricada – requisitos – parte 2: lajes bidirecionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2002b.

_____. **NBR 14861: lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido – requisitos e procedimentos.** Rio de Janeiro, 2011.

BARALDI, L.T. **Sistemas estruturais.** 2010. Disponível em:
<http://civilnet.com.br/Files/Sistemas%20Estruturais/1_Elementos%20estruturais.pdf>. Acesso em:
2 maio 2016.

BASTOS, P.S.S. **Lajes de concreto.** 2015. Disponível em:
<<http://www.pf.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2016.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **PIB 2015.**
Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/home/pib-2015>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

CARVALHO, R.C; PINHEIRO, L.M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado:** segundo NBR 6118/2003. 3. ed. São Carlos: Edufscar, 2013.

CATOIA, B. **Lajes alveolares protendidas: cisalhamento em região fissurada por flexão.** 2011.
Disponível em: <http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2011DO_BrunaCatoia.pdf>.
Acesso em: 16 maio 2016.

CERVO, A.L; BERVIAN, P.A. **Metodologia científica.** São Paulo: Pearson, 2002.

CONWAY, E. **50 ideias de economia que você precisa conhecer.** 1. ed. São Paulo: Planeta, 2015.

CORRÊA, M.R.S. **Aperfeiçoamento de modelos usualmente empregados no projeto de edifícios.** 1991. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

COSTA, O.O. **“Avaliação de desempenho de elementos de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas”.** 2009. Disponível em: <livros01.livrosgratis.com.br/cp122093.pdf> Acesso em: 16 de maio de 2016.

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

FRANÇA, A.V.P. **Estudo das lajes alveolares pré-fabricadas em concreto protendido submetidas a ensaios de cisalhamento.** 2012. Disponível em:
<<http://www.prppg.ufpr.br/ppgcc/sites/www.prppg.ufpr.br/ppgcc/files/dissertacoes/d0174.pdf>>
Acesso em: 16 maio 2016.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas em pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

KEYNES, J. M. **A teoria geral do emprego, do juro e da moeda**. São Paulo: Nova Cultural, 1996.

LOPES, A.F.O. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento**. 2012. Disponível em:

<https://www.ufpe.br/eccaa/images/documentos/TCC/2012.1/tcc2_versaofinal201201%20-%20andre%20felipe%20de%20oliveira%20lopes.pdf> Acesso em: 23 maio 2016.

NAKAO, R. et al. **Lajes pré-fabricadas treliçadas: uma análise experimental regional segundo a NBR 14859**. 2005. Disponível em:

<http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/120%20.pdf> Acesso em: 5 jun. 2016.

NERVO, R. **Análise comparativa dos sistemas estruturais de lajes convencionais e lajes nervuradas**. 2012. Disponível em

<http://www.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/analise_comparativa_dos_sistemas_estruturais_de_lajes_conven.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2016.

PETRUCELLI, N.S. **Considerações sobre projeto e fabricação de lajes alveolares protendidas**. 2009. Disponível em:

<http://www.bdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2829> Acesso em: 16 maio 2016.

SALAS, S. J. **Construção industrializada: pré-fabricação**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988.

SPOHR, V.H. **Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas**. 2008. Disponível em < http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_arquivos/20/TDE-2008-09-02T112928Z-1707/Publico/VALDIHENRIQUESPOHR.pdf> Acesso em: 16 maio 2016.

SERRA, S.M.B.; FERREIRA, M.de A.; PIGOZZO, B. N. **Evolução dos pré-fabricados de concreto**. 2005. Disponível em:

<http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2016.

TATU PREMOLDADOS LTDA. **Laje alveolar protendida**. 2005. Disponível em:

<http://www.tatu.com.br/pdf_novo/lajes_alveolares.pdf> Acesso em: 16 maio 2016.

TCPO. **Tabelas de Composições de Preços para Orçamento**. 13ª Edição, São Paulo: PINI, 2010.

VASCONCELOS, A. C. **O concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações.** Vol. III. São Paulo: Studio Nobel, 2002.

VASCONCELLOS, M. A. S.; GARCIA, M. E. **Fundamentos Economia.** 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2008.