

Lajes maciças pré-moldadas e maciças com painéis treliçados em pavimentos de edificações: Logística, montagem e custos[†]

Precast slabs and solid slabs in building floors: Logistics, assembly and costs[†]

Nathan B. Lima¹  orcid.org/0000-0002-1726-0170

Nathalia B. D. Lima²  orcid.org/0000-0002-1550-5859

Romilde A. Oliveira³  orcid.org/0000-0002-6786-9080

¹ Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil,

² Departamento de Química Fundamental, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil,

³ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, 50050-900, Recife (PE), Brasil.

E-mail do autor principal: Nathan B. Lima nbl@poli.br

Resumo

Neste trabalho os objetivos consistiram em avaliar aspectos sobre a logística das etapas de fabricação e da montagem de lajes maciças pré-moldadas e lajes maciças com painéis treliçados em edifícios. Para isto, a metodologia começa pela avaliação de dois edifícios com 8 pavimentos cada. Os resultados mostram que o procedimento de içamento das lajes pode ser considerado uma estratégia de redução de tempo para a montagem das mesmas. Para a realização do transporte adequado dos painéis usados nas lajes maciças, até o local de montagem das mesmas, foi necessário o uso do equipamento manipulador telescópico *Skytrack*. Em seguida, foi verificado que a fabricação das lajes maciças com painéis treliçados para a construção de uma edificação foi economicamente mais vantajosa quando comparada à fabricação das lajes pré-moldadas. Ao analisar aspectos sobre a fabricação das lajes quanto a sua montagem, foi verificado que as lajes pré-moldadas são economicamente mais vantajosas quando comparadas às lajes maciças de painéis treliçados, onde a fabricação e a aplicação das lajes pré-moldadas correspondem a 69% do custo correspondente às lajes maciças de painéis treliçados.

Palavras-Chave: logística; lajes maciças pré-moldadas; painéis treliçados; montagem; custos.

Abstract

The main goal of this article is to evaluate logistic aspects of the steps of the processing and application of precast slabs, as well as solid slabs on buildings. In this sense, the usage of both slabs was considered on 8 floors of two buildings. The results indicate that the slab lift procedure can be considered a time reduction strategy for its application. In addition, a Skytrack equipment was employed to guarantee the adequate transport of the panels employed in the solid slabs. Further, it was verified that the processing step of the solid slabs is economically advantageous when compared to the corresponding cost of the precast slabs. However, by considering the manufacture of the both slabs and their application, it was observed that precast slabs are economically more advantageous when compared to the solid slabs. Indeed, the processing and application of the precast slabs corresponds to 69% of the total solid slab cost.

Key-words: logistics; precast slabs; solid slabs; costs.

[†]Parte deste trabalho foi apresentada no 59º Congresso Brasileiro de Concreto, Bento Gonçalves/RS, 2017.

1 Introdução

A logística de uma construção é de grande importância para o sucesso da mesma. Por isto, novas soluções de engenharia que aperfeiçoam a logística dos processos de construção são alvo de interesse da Engenharia Civil [1]. Um exemplo de solução foi proposta por Akintoye et al. e consiste na colaboração entre a indústria civil e colaboradores externos, de forma a otimizar os processos de logística durante a construção [2]. É importante ressaltar que o planejamento adequado das etapas necessárias para a realização do setor da construção pode, por exemplo, reduzir o tempo necessário para a entrada dos materiais necessários para a realização da mesma.

Há diferentes modelos de logística que permitem essa otimização do tempo [3,4]. Neste contexto, Wegelius-Lehtonen reportou o modelo de logística bidimensional, onde medidas relacionadas ao funcionamento da empresa precisam ser monitoradas de forma contínua [3]. Tais informações ajudam a indústria da construção a descobrir problemas durante o seu funcionamento, e, portanto, otimizar condições importantes como é o caso do tempo para a realização de projetos [3]. Já no trabalho reportado por Nunes et al., os autores concluíram que é importante levar em consideração informações, por exemplo, sobre resíduos formados durante uma setor da construção, bem como é importante definir o mercado de interesse para o produto final [4]. Este trabalho considerou como estratégia a logística reversa, que pode ser definida da seguinte maneira [5]:

“Área da Logística Empresarial que planeja, opera e controla o fluxo, e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós - consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, através dos Canais de Distribuição Reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros”.

A logística reversa que foi considerada por Nunes et al. avaliou a indústria de construção brasileira [4]. É importante ressaltar que o conceito da logística reversa busca o retorno de bens que já não apresentariam valor comercial ao ciclo produtivo. Além do mais, as estratégias de logística ocorrem em cadeia, considerando os tipos de resíduos que serão formados ao mercado de interesse para assim

permitir sua re-inclusão na cadeia produtiva. Para obter um melhor desempenho na construção de edificações, por exemplo, na execução de pavimentos de uma edificação e do tipo de sistema de laje projetada, a logística adequada é de grande importância. Assim, a escolha dos materiais necessários para a execução de tais pavimentos é um fator decisivo no projeto de edificações. Neste contexto, lajes são comumente escolhidas por profissionais do setor da construção durante a preparação de pavimentos de edificações [6, 7, 8].

A escolha do sistema de lajes em uma edificação projetada em alvenaria estrutural é considerada tanto a área da construção quanto o número de edifícios para elaboração dos projetos. Assim, a logística do empreendimento depende do fluxo e da organização da entrada de materiais para a construção da edificação. No que diz respeito à logística dos materiais necessários para a fabricação e montagem de lajes em pavimentos de edifícios, o estoque desempenha um papel de grande importância. Neste sentido, o estoque de materiais em conjunto com a entrada de maquinários e com os espaços reservados à movimentação de funcionários devem ser planejados de forma sistemática, de tal forma que contemple o local onde cada insumo deverá ser estocado e quanto tempo ele permanecerá ocupando esta área até a sua montagem.

Recentemente, foi apresentado no 59º Concreto Brasileiro de Concreto um estudo preliminar sobre uma comparação entre a utilização de lajes pré-moldadas e de lajes maciças com painéis treliçados em pavimentos de edificações. Este trabalho focou principalmente nos custos associados tanto a preparação quanto a utilização dos dois tipos de laje [9]. Assim, no presente trabalho foram avaliados, de forma mais aprofundada, aspectos sobre a logística das etapas de fabricação e da montagem de dois diferentes tipos de lajes (maciças pré-moldadas e maciças com painéis treliçados) em 8 pavimentos de duas edificações, construídas em um empreendimento com 27 edificações projetadas em lajes de painéis maciça com painéis treliçados e 12 edificações para lajes maciça pré-moldada.

A NBR 6118 (ANBT, 2014) define o conceito de laje nervurada como o tipo de laje moldada no local ou com nervuras pré-moldadas, em que zona de tração para movimentos positivos esteja localizada nas nervuras pelo qual pode-se inserir algum

material inerte. Neste contexto, também foram avaliados detalhadamente os custos para a preparação dos pavimentos de ambas as edificações, onde os resultados das análises de montagens das lajes e logística associados aos custos de execução podem ser um fator crucial para elaboração de projetos de edificações até oito pavimentos projetadas em alvenaria estrutural.

2 Fundamentação teórica

De acordo com Droppa[10], uma importante vantagem da utilização das lajes pré-moldadas consiste na redução da quantidade de fôrmas, em relação à laje maciça moldada no local. As características geométricas das lajes pré-moldadas resultam na redução do volume de concreto e armadura quando comparado aos valores necessários para outros tipos de lajes, como, por exemplo, lajes maciças com armaduras treliçadas. É possível dizer que tais fatores ocasionam uma maior economia tanto de materiais quanto no tempo de execução, do ponto de vista estrutural, a estabilidade de uma edificação construída em alvenaria estrutural não só depende do desempenho das paredes de alvenaria aos esforços de tração e compressão. Adicionalmente, também existe a dependência da relação de equilíbrio nas distribuições de cargas na relação de trabalho entre as lajes e as alvenarias. As lajes direcionam as cargas das alvenarias para o pavimento abaixo, e também representam um parâmetro importante no cálculo do dimensionamento na quantidade de pavimentos na elaboração do projeto da edificação. Além do mais, as lajes apresentam a possibilidade do travamento da estrutura e na capacidade da edificação em receber esforços de tração.

Segundo a NBR 9062 (ABNT, 2017)[11], os dispositivos utilizados para constituir um conjunto estrutural, idealmente, devem ser capazes de transmitir os esforços solicitantes em todas as fases de utilização dentro das condições de projeto. Adicionalmente, esta norma comenta que a estabilidade das estruturas constituídas de sistemas pré-moldados deve ser verificada tanto para os elementos constituintes isolados quanto para o conjunto como um todo. Também é importante levar em consideração a diminuição de rigidez das peças para a situação de carga de

projeto, adotando-se para os coeficientes de majoração das ações citadas na NBR 6118 (ANBT, 2014)[12]. No entanto, antes da etapa de montagem das lajes, é necessária uma análise criteriosa em casos de vãos muito extensos, principalmente no que diz respeito à deformação da laje e o efeito intenso da força cortante.

O aumento da demanda de lajes para construções, levou ao desenvolvimento de novos tipos de lajes pré-moldadas, como, por exemplo, as lajes pré-moldadas nervuradas formadas por vigotas com armação em forma de treliça (painéis treliçados). Estas últimas são frequentemente chamadas de lajes treliçadas. Neste contexto, os painéis treliçados são fabricados de acordo com especificações previstas no projeto [9]. Adicionalmente, a partir da utilização das lajes protendidas e treliçadas é possível completar grandes vãos. No entanto, é importante que antes das etapas de montagem das lajes seja realizada uma análise criteriosa em casos de vãos muito extensos, principalmente no que diz respeito à deformação da laje e o efeito intenso da força cortante.

Segundo Silva (1996)[13], as lajes funcionam como diafragmas rígidos, sendo os elementos responsáveis pela distribuição das ações do vento entre as paredes. As lajes podem estar sujeitas a translações e rotações no seu plano ou unicamente translações. A disposição das paredes estruturais pode ser simétrica em relação a um desses eixos ou a ambos. Quando o vento atua na direção paralela à do eixo de simetria, a laje apenas translada nesta direção.

A análise estrutural das lajes pré-moldadas quando comparada às lajes em painéis treliçados revela-se a considerável capacidade das lajes em painéis treliçadas no maior travamento da edificação devido à camada superior de concreto das lajes e ao detalhamento de armaduras

Em relação à preparação, as vigotas pré-moldadas de concreto armado são executadas em fôrmas metálicas, em pequenas unidades de produção, com instalações físicas simples. Assim, a execução das vigotas de concreto protendido em pistas de protensão é realizada com o uso de fôrmas fixas ou fôrmas deslizantes. Geralmente, a base retangular pré-moldada de concreto da vigota treliçada é moldada em fôrma metálica, nas dimensões de 2 a 3 cm. Este material de

concreto apresenta em sua composição agregados como brita 19 e pasta de cimento, de forma a prevenir a necessidade de procedimentos vibratórios.

Por sua vez, o projeto de lajes pré-moldadas é iniciado pela escolha da altura total da laje. Este valor é comumente utilizado para o cálculo das ações permanentes no pavimento [14]. É importante ressaltar que as lajes maciças pré-moldadas, normalmente, apresentam rigidez inferior quando comparado aos correspondentes valores das lajes maciças com painéis treliçados. Assim, é esperado que as situações de deformação destes materiais sejam determinantes na escolha da altura da edificação. Normalmente, a deformação da fluência é da mesma ordem de grandeza da deformação imediata, que por sua vez é afetada pela fissuração do concreto sob cargas aplicadas.

A escolha da altura da edificação em que as lajes serão utilizadas, seja ela maciça pré-moldada ou maciça com painéis treliçados, deve ser bastante cuidadosa. A NBR 6118 (ANBT, 2014) comenta aspectos sobre a segurança em relação aos estados-limites últimos (ELU). A partir desta norma, é possível obter critérios que levem a adequação da segurança em relação aos demais elementos, onde se faz necessário um detalhamento sobre o projeto, bem como a definição de uma pequena probabilidade de ruína da edificação. Adicionalmente, a segurança em relação aos estados-limites de serviço (ELS), para que o desempenho da edificação seja adequado, deve-se, usualmente respeitar as limitações das flechas de abertura de fissuras ou de vibrações. Além do mais, os ELS são serviços associados ao conforto do usuário da edificação, bem como e a durabilidade da mesma.

Devido à dificuldade de execução dos cálculos e pela falta de informações, ainda é frequente nos projetos do setor da construção a desconsideração dos efeitos da fissuração e da fluência na verificação de flechas, no que diz respeito ao uso de lajes maciças pré-moldadas ou maciças com painéis treliçados [11].

3 Metodologia

Para a realização deste trabalho foram escolhidas as seguintes construções: (i) 12 edificações de oito pavimentos todas projetadas em alvenaria estrutural, onde foram usadas lajes armadas maciças pré-moldadas e (ii) 27 edificações que tiveram oito pavimentos, os quais também foram projetados em alvenaria estrutural. As edificações escolhidas foram construídas no município de Jaboatão dos Guararapes no estado de Pernambuco, onde cada edificação foi projetada para contemplar quatro apartamentos aproximadamente de 65,00 m² por pavimento, onde foram usadas lajes maciças com painéis treliçados. A metodologia deste trabalho consistiu em avaliar aspectos associados aos procedimentos de preparação e de montagem de ambos os tipos de lajes (maciças pré-moldadas e maciças com painéis treliçados), nos pavimentos de uma das edificações dos casos (i) e (ii). Neste contexto, foram avaliados aspectos sobre a logística de fabricação dos materiais, bem como sua fabricação e montagem. No que diz respeito às etapas de fabricação das lajes, a metodologia também consistiu em avaliar os custos da montagem e da aquisição das fôrmas metálicas, bem como o uso de insumos precursores da linha de produção.

4 Resultados e discussão

4.1 A logística de estoque das lajes

As edificações avaliadas neste trabalho foram projetadas em alvenaria estrutural. Assim, foi necessária a elaboração da logística para a execução adequada dos pavimentos das edificações. A primeira etapa da logística consistiu na separação de uma parte da área de construção para o estoque de materiais necessários para a preparação das lajes maciças pré-moldadas e das lajes maciças com painéis treliçados, como pode ser visto na figura 1.

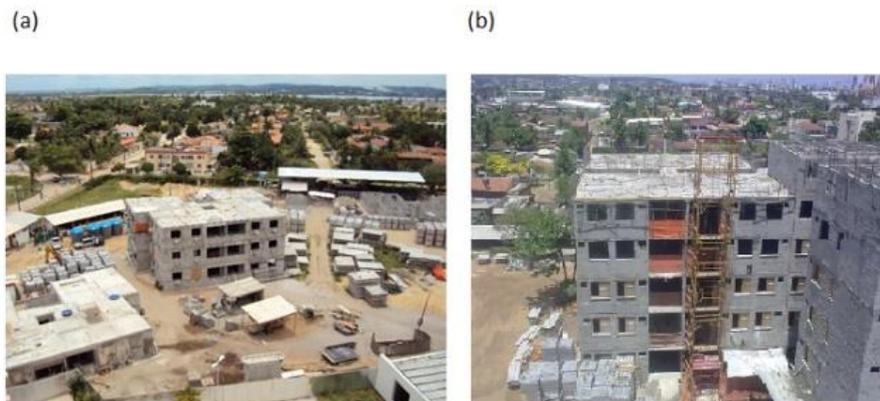


Figura 1: (a) estoque e montagem de lajes maciças pré-moldadas e (b) estoque e montagem das lajes maciças com painéis treliçados.
(Fonte: própria)

A etapa seguinte a preparação dos estoques das lajes usadas neste trabalho consistiu na preparação de materiais, a qual foi realizada em termos de blocos de concreto, lajes pré-moldadas, escadas pré-moldadas, de vigas pré-moldadas, barras e telas de aço.

É importante ressaltar que estoques de lajes maciças pré-moldadas com utilização de blocos de concreto semelhantes ao apresentado na Figura 1(a) podem ocasionar sobrecarga superior à que o bloco pode suportar. Desta forma, pode ocorrer uma distribuição não uniforme nas reações das cargas de apoio podendo danificar as lajes. Para minimizar este problema, foram utilizadas madeiras, que serviram para distribuir as forças de cargas de modo mais uniforme, e, portanto, preservando a qualidade das lajes maciças pré-moldadas.

Por sua vez, o painel treliçado apresenta um peso menor quando comparado ao peso de uma única peça pré-moldada maciça. Assim, o transporte deste tipo de material e a capacidade de estoque são mais simples, podendo inclusive ser carregada por um ou dois colaboradores facilitando a preparação do primeiro pavimento da edificação.

Em seguida, foi avaliada a logística da preparação, bem como foram avaliadas a logística do estoque e da montagem de lajes com painéis treliçados para a construção de um empreendimento com vinte e sete torres projetadas em alvenaria estrutural. É importante ressaltar que todos os serviços de execução das edificações estão relacionados ao estoque dos insumos dentro do canteiro de obras. Desta forma, o planejamento dos serviços está relacionado ao gerenciamento de

entrada e saída de materiais no estoque da obra. Neste contexto, todas as etapas de planejamento precisam ser analisadas com riqueza de detalhes, bem como devem ser realizadas em elevada sincronia.

A partir da execução dos edifícios considerados neste artigo, foi constatado que o sistema de laje maciça pré-moldada é mais competitivo quanto aos custos de produção e montagem em edificações em alvenaria estrutural. Neste contexto, uma vantagem da linha de produção é a possibilidade do içamento de lajes. Tal procedimento, aparentemente, está relacionado à redução dos custos globais do empreendimento, por exemplo, a redução do tempo para os serviços de marcação e elevação das alvenarias para os pavimentos seguintes.

Por sua vez, na logística da preparação e da montagem das lajes maciças com painéis treliçados nos pavimentos das edificações consideradas neste artigo, foi importante levar em consideração o transporte dos painéis, até o local de montagem da laje. Assim, o equipamento manipulador telescópico *Skytrack* foi eficaz no transporte dos perfis até o local de montagem da laje. É importante ressaltar que esse tipo de transporte aumentou a velocidade de distribuição de materiais dentro do canteiro de obras horizontais, ou seja, construções com uma grande área de infraestrutura.

4.2 Fabricação e montagem das lajes maciças pré-moldadas e maciças com painéis treliçados

As etapas de fabricação e montagem das lajes maciças pré-moldadas foram inicializadas com o auxílio de um guindaste XCMG 130K de modo que foi realizado um encaixe das mesmas nos pavimentos da edificação. Em cada um destes pavimentos foram usadas vinte e sete peças de lajes pré-moldadas. Esta quantidade ocasionou uma produção de montagem no canteiro de obras de cerca de oitenta e uma peças de lajes maciças pré-moldadas içadas por dia de trabalho. No procedimento de lançamento de lajes abaixo do terceiro pavimento foi usada uma grua móvel para o içamento de lajes pré-moldadas posicionadas entre dois ou três edificações. Este procedimento foi realizado de forma simultânea.

Por sua vez, a preparação e montagem das lajes maciças com painéis treliçados em obras de alvenaria estrutural também foi realizada com o auxílio de um guindaste devido ao fator de alcance da lança. Tal procedimento limita o tempo de içamento quando comparada com o içamento feito pelo manipulador telescópico *Skytrack*. Antes do posicionamento dos painéis é necessário posicionar os escoramentos. O dimensionamento correto dos escoramentos garante tanto o nivelamento correto do concreto lançado nos painéis, quanto contribui para o suporte de enrijecimento da laje antes da etapa de concretagem. Este procedimento torna possível a montagem das armaduras transversais, bem como instalações elétricas, aberturas dos *shafts* de instalações hidro sanitárias e as etapas de concretagem da laje. Foi verificado que estas ações resultaram em uma maior segurança para os funcionários na aplicação das lajes de painéis treliçados. Após as etapas de fixação dos painéis treliçados e de seus respectivos escoramentos terem sido posicionados, foram executadas as etapas de concretagem das lajes. Todas as etapas relacionadas à montagem das lajes maciças pré-moldadas e maciças com painéis treliçados são apresentadas na figura 2.

4.3 Custos dos processos de fabricação e de montagem das lajes

Ao longo dos processos de fabricação e de montagem dos dois tipos de lajes consideradas neste artigo (maciças pré-moldadas e maciças com painéis treliçados), foram avaliados os custos de cada um destes procedimentos. Desta forma, os quadros 1 e

2 mostram em detalhes a composição do orçamento de duas edificações, em que foram projetadas as lajes maciças pré-moldadas, bem como as lajes maciças com painéis treliçados.

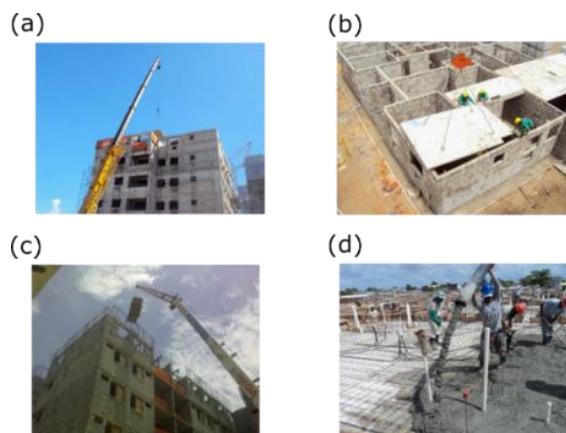


Figura 2: (a) Içamento de lajes maciças pré-moldadas, (b) montagem da laje maciça pré-moldada na edificação, (c) içamento de painéis treliçados e (d) etapa de concretagem das lajes maciças com painéis treliçados.

(Fonte: própria)

Os quadros 1 e 2 mostram os valores associados à execução das lajes, já o quadro 3 mostra os valores relacionados à fabricação dos dois diferentes tipos de lajes.

A partir do quadro 3, foi constatado que o custo da fabricação das lajes maciças pré-moldadas é maior do que o custo de sua montagem. No caso, a etapa da fabricação das lajes maciças pré-moldadas constituiu 55% do valor total do processo, enquanto a montagem na edificação foi responsável por 45% do valor total.

Por sua vez, o inverso foi constatado para a fabricação e a montagem das lajes maciças com painéis treliçados. Neste caso, a fabricação das lajes correspondeu à 22% do valor total, enquanto a etapas de montagem consistiram em 78% do mesmo valor. É claro que se a intenção for unicamente a fabricação das lajes, é mais vantajosa a fabricação de lajes maciças com painéis treliçados, onde a quantidade necessária para executar os 8 pavimentos da edificação analisada, o valor associado a esta etapa foi de R\$ 56.643,82. Enquanto o valor correspondente para a fabricação das lajes maciças pré-moldadas foi de R\$ 99.441,52.

Quadro 1: Detalhamento dos valores associados à execução de oito pavimentos de lajes maciças pré-moldadas.

Materiais/Serviços	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Custo (R\$)	Custo (R\$) por m ²
Concreto 35,00 MPa	224,00	379,147	84.928,93	39,32
Aço CA 60 5.0 MM	806,74	4,810	3.880,42	1,80
Aço CA 50 8.0 MM	20,64	4,740	97,83	0,05
Instalação TUB. CX ELE.	40,00	135,00	5.400,00	2,50
Içamento da forma	8,00	363,630	2.909,04	1,35
Espaçador/ Distanciador em plástico	5184,00	0,110	570,24	0,26
Aplicação da Graute	16,00	3,050	48,80	0,02
Desmoldante	16,00	14,000	224,00	0,10
Graute	640,00	1,660	1.062,40	0,49
Armador de encargo	128,00	4,950	633,60	0,29
Ajudante de armador	256,00	3,050	780,80	0,36
Contrapiso em argamassa traço1:43 CM	2240,00	30,130	67.491,20	31,25
Custo das fôrmas metálicas	1,00	5416,660	5.416,66	2,51
Guindaste de 130 T	24,00	330,000	7.920,00	3,67
Custo Total das Lajes maciças pré-moldadas			181.363,92	83,96

Quadro 2: Detalhamento dos valores associados à execução de oito pavimentos de lajes maciças com painéis treliçados.

Materiais/Serviços	Quantidade e	Valor Unitário (R\$)	Custo (R\$)	Custo (R\$) por m ²
Forma Vigas - Pla12 (3X) - E	51,37	29,14	1.496,69	0,75
Instalação TUB. CX ELE. Na Laje 3QS	28,44	121,68	3.460,58	1,72
Forma Laje Maciça PLA 12 (8X) - E	1836,23	23,59	43.308,17	21,57
Escoramento da Laje - ESCORA Ø3CM H=3,0M - E	1836,23	11,25	20.654,15	10,29
Armação da Laje - Super CA-60 8,0MM CD - E	892,49	3,74	3.337,91	1,66
Concreto Usinado Bomb 20,0 MPA B 1 - E	168,68	292,10	49.271,53	24,54
Lona e isopor para laje SOLTA - E	133,95	2,14	287,19	0,14
Instalação de Laje PAINEL - 250KG/M2	1836,23	35,47	65.131,08	32,44
Laje Pannel - 250 KG/M2	1836,23	29,53	54.223,87	27,00
Serviço de lançamento de concreto estrutural	168,68	29,00	4.891,72	2,44
Serviço de polimento do piso de concreto	1836,23	6,00	11.017,38	5,49
SKAYTRAK	10,00	79,56	795,60	0,40
Custo de fôrmas metálicas	1,00	1,00	923,26	0,46
Guindaste de 35 T	15,00	180,00	2.700,00	1,34
Custo Total das Lajes Maciças de Painéis Treliçados			261.499,13	130,23

Quadro 3: Custos da fabricação e da montagem de lajes maciças pré-moldadas e de lajes maciças com painéis treliçados nos 8 pavimentos de duas edificações em alvenaria estrutural.

Tipo de Laje	Fabricação (R\$)	Montagem (R\$)	Custo Total (R\$)
Maciça pré-moldada	R\$ 99.441,52	R\$ 81.992,40	R\$ 181.433,92
Maciça com painéis treliçados	R\$ 56.643,82	R\$ 204.855,31	R\$ 261.499,13

Finalmente, ao comparar o valor total da fabricação das lajes em conjunto com a sua montagem, foi mais vantajoso do ponto de vista global, o uso de lajes maciças pré-moldadas, uma vez que o valor total foi de R\$ 181.433,92, enquanto o correspondente valor para as lajes maciças com painéis treliçados foi de R\$ 261.499,13.

5. Conclusões

Em relação à logística de execução dos pavimentos das edificações estudadas, foi verificado que uma vantagem durante as etapas de montagem tanto das lajes maciças pré-moldadas quanto das lajes maciças com painéis treliçados é o procedimento de içamento. Tal procedimento, pelo menos para os casos considerados, parece estar associado à diminuição do tempo necessário para a marcação e a elevação das alvenarias de todos os pavimentos das edificações.

Por sua vez, para o transporte adequado dos painéis usados nas lajes maciças com painéis treliçados, até o local de montagem, foi necessário o uso do manipulador telescópico Skytrack. Neste contexto, é importante ressaltar que esse tipo de transporte aumentou a velocidade de distribuição dos materiais utilizados dentro do canteiro de obras uma grande área de infraestrutura, como foram os casos das construções estudadas.

Após as etapas de fabricação das lajes maciças pré-moldadas e das lajes maciças com painéis treliçados, foi verificado que do ponto de vista econômico, a fabricação das lajes maciças com painéis treliçados dentro do canteiro de obras foi mais vantajosa quando comparada a fabricação das lajes maciças pré-moldadas. No entanto, do ponto de vista global, ou seja, considerando tanto a fabricação das lajes quanto a sua montagem, foi verificado que as lajes maciças pré-moldadas são mais vantajosas do ponto de vista econômico quando comparadas às lajes maciças com painéis treliçados. A fabricação e a montagem das lajes maciças pré-moldadas correspondem a 69% do custo correspondente às lajes maciças com painéis treliçados.

Finalmente, foi verificado que o custo/m² das lajes maciças com painéis treliçados foi de R\$ 130,23. Por sua vez, o valor correspondente para as lajes maciças de concreto pré-moldado foi de apenas

R\$ 83,96. Naturalmente, a implicação destes valores é que sendo o custo/m² das lajes maciças com painéis treliçados consideravelmente superior em relação às lajes pré-moldadas, é possível considerar que o volume de concreto utilizado na preparação das lajes maciças com painéis treliçados foi maior do que o esperado. Desta forma, para tornar este processo mais competitivo em relação ao custo/m², uma menor quantidade de concreto poderia ser utilizada, similarmente ao processo que foi realizado em relação às lajes em painel treliçado.

Agradecimentos

Os autores agradem à Escola Politécnica de Pernambuco/UPE, à FACEPE, à CAPES e à L'Oréal-UNESCO-ABC "Para Mulheres na Ciência".

Referências

- [1] Filho, J. R. F.; Santos, C.A.B. Setor da construção: Um Sistema de Gestão Baseada na Logística e na Produção, in: Encontro Nac. Eng. Produção, 1998. **Anais** http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENE_GEP1998_ART549.pdf.
- [2] Akintoye, A.; McIntosh, G.; Fitzgerald, E. A survey of supply chain collaboration and management in the UK construction industry, **Eur. J. Purch. Supply Manag.** 6 (2000) 159–168.
- [3] Wegelius-Lehtonen, T. Performance measurement in construction logistics, **Int. J. Prod. Econ.** 69 (2001) 107–116.
- [4] Nunes, K. R. A.; Mahler, C.F.; Valle, R.A. Reverse logistics in the Brazilian construction industry, **J. Environ. Manage.** 90 (2009) 3717–3720.
- [5] Leite, P.R. O ciclo de vida útil dos produtos e a Logística Reversa. **Revista Tecnológica**, São Paulo, Editora Publicare, 2002.
- [6] Ma, G.; Gu, L.; Li, N. Scenario Based Proactive Robust Optimization for Critical Chain Project Scheduling, **J. Constr. Eng. Manag.** 141 (2015) 1–12.
- [7] Shen, L.; Tam, V. W.; Li, C. Benefit analysis on replacing in situ concreting with precast slabs for temporary construction works in pursuing sustainable construction practice, **Resour. Conserv.**

Recycl. 53 (2009) 145–148.

- [8] Fu, F.; Lam, D. Experimental study on semi-rigid composite joints with steel beams and precast hollowcore slabs, **J. Constr. Steel Res.** 62 (2006) 771–782.
- [9] Lima; N. B.; Lima; N. B. D.; Oliveira, R. A. O Impacto da Utilização de Lajes Pré-moldadas e de Lajes Maciças em Pavimentos de Edificações, in: An. Do 59º Congr. Bras. Do Concreto, 2017. **Anais** <<http://www.ibracon.org.br/eventos/59cb c/artigos/59cbc/artigos>>.
- [10] Droppa, J. A. Análise estrutural de lajes formadas por Elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada, **Tese de doutorado**, Universidade de São Paulo, 1999.
- [11] **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-9062.** Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, Rio de Janeiro, 2017.
- [12] **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-6118.** Projeto e execução de obras de concreto armado, Rio de Janeiro, 2014.
- [13] Silva, I. M. Análise de edifícios de alvenaria estrutural sujeitos as ações do vento. São Carlos. **Dissertação de Mestrado** - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1996.
- [14] Carvalho, R.C. Escolha da altura de lajes com nervuras pré-moldadas para pavimentos de edificações considerando as verificações do estado limite último e de deformação excessiva, in: XXIX Jorn. Sudam. Eng. Estrutural, 2000. **Anais** <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/LajeNerv-S8T177.pdf>>.