

ANÁLISE EXPERIMENTAL COMPARATIVA DE LAJES UNIDIRECIONAIS NERVURADAS PARA DIFERENTES PROCESSOS CONSTRUTIVOS.

Ricardo frazzetto Guetner (1), Alexandre Vargas (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)ricardoquetner@hotmail.com, (2) alexandrevargas@terra.com.br

RESUMO

A má qualidade das vigotas de concreto pré-moldadas para a construção de lajes tem feito uma construtora de Criciúma - SC adotar um processo construtivo alternativo, a fim de tentar suprir essa deficiência do mercado. O presente estudo tem como objetivo analisar e comparar dois processos construtivos de lajes nervuradas unidirecionais que são constantemente utilizadas por essa construtora. O primeiro processo, que é denominado de Grupo A, é o sistema tradicional com vigotas pré-moldadas. O segundo processo, chamado de Grupo B, é com as nervuras concretadas *in loco*. Para a realização do estudo foram moldadas três amostras de laje para cada grupo, onde foi realizado em laboratório o ensaio de flexão em quatro pontos, buscando analisar o deslocamento e a capacidade portante de cada sistema. O primeiro passo do estudo foi analisar a deformação quando submetido ao carregamento de serviço. A segunda análise feita foi o carregamento para atingir a deformação vertical máxima permitida por norma ($L/250$). A terceira e última análise feita foi o carregamento e o deslocamento vertical no momento da ruptura. Com os resultados dos ensaios conclui-se que para o carregamento em que são solicitadas usualmente (ELS), as lajes do Grupo A e B não apresentam diferença significativa estatisticamente falando, tendo uma diferença considerável somente com cargas excessivas, em que esses tipos de lajes não são recomendados.

Palavras-Chave: Processos construtivos, análise comparativa, lajes nervuradas, resistência à flexão.

1 INTRODUÇÃO

Para diminuir o peso próprio da laje começou-se a utilizar as lajes nervuradas, que segundo Araújo (2003), as lajes maciças podem ser antieconômicas.

Para reduzir o peso próprio da estrutura, pode-se adotar a solução em lajes nervuradas. Nessas lajes, a zona de tração é constituída por nervuras entre as quais podem ser colocados materiais inertes, de forma a tornar plana a superfície externa. Os materiais inertes devem ter peso específico reduzido em comparação com o peso específico do concreto. (Araújo, 2003)

As lajes pré-moldadas surgiram para facilitar e dar agilidade à obra, dispensando fôrmas e diminuindo o número de pontaletes para escoramento, embora deva ser utilizada apenas para vencer pequenos e médios vãos.

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2009) “serão considerados os pavimentos mais simples, econômicos e que resultam em boas soluções para pequenos e médios vãos, empregados, principalmente, em construções residenciais e comerciais de pequeno e médio porte”.

Mesmo com essas facilidades, surgem problemas, como a má qualidade de algumas vigotas comercializadas, fazendo com que algumas construtoras busquem por sistemas construtivos alternativos, como as lajes com as nervuras concretadas *in loco*, mesmo não tendo pleno conhecimento do funcionamento do sistema.

Este estudo tem o objetivo de comparar lajes com vigotas pré-moldadas e lajes com vigotas moldadas *in loco*, e analisar o comportamento de cada sistema. Foram verificados no estudo:

- O deslocamento vertical (flecha) quando submetido ao carregamento de uso e ocupação de uma edificação residencial (ELS);
- O carregamento quando atingido o deslocamento vertical máximo estabelecido pela NBR 6118/2003 (L/250);
- O carregamento máximo para levar a peça à ruptura;
- O deslocamento vertical no momento da ruptura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do estudo foram moldadas seis lajes nervuradas unidirecionais, divididas em dois grupos de três.

O primeiro grupo, que foi chamado de Grupo A, foi constituído de três lajes de seção transversal (90 x 12)cm e 250 cm de comprimento, usando como nervuras vigotas pré-moldadas. Foi acompanhado o processo de fabricação das vigotas e moldados corpos de prova do concreto utilizado, que foram ensaiados aos 28 dias no LMCC- Laboratório de Materiais de construção Civil da UNESC, para obter o valor do f_c (resistência à compressão), pois o fabricante não soube informar a resistência e não

havia um controle na produção das mesmas. Os resultados do ensaio a compressão do concreto encontram-se dispostos na Tabela 1.

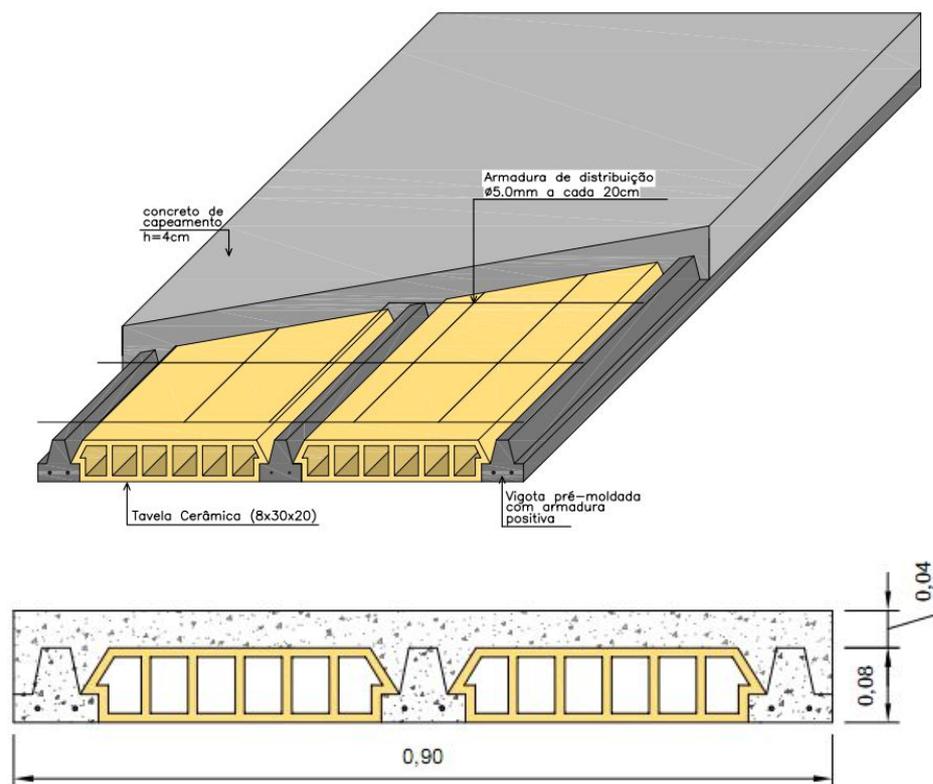
Tabela 1 – Resistência à compressão (f_c) das amostras

Amostra	Resistência (MPa)
CP 1	24,9
CP 2	25,2
Média (f_{cm})	25,05
Desvio Padrão	0,21

Fonte: Do autor.

A armadura positiva utilizada foi de dois fios de 5mm de diâmetro de aço CA-60 para cada vigota. Conforme mostra a figura 1.

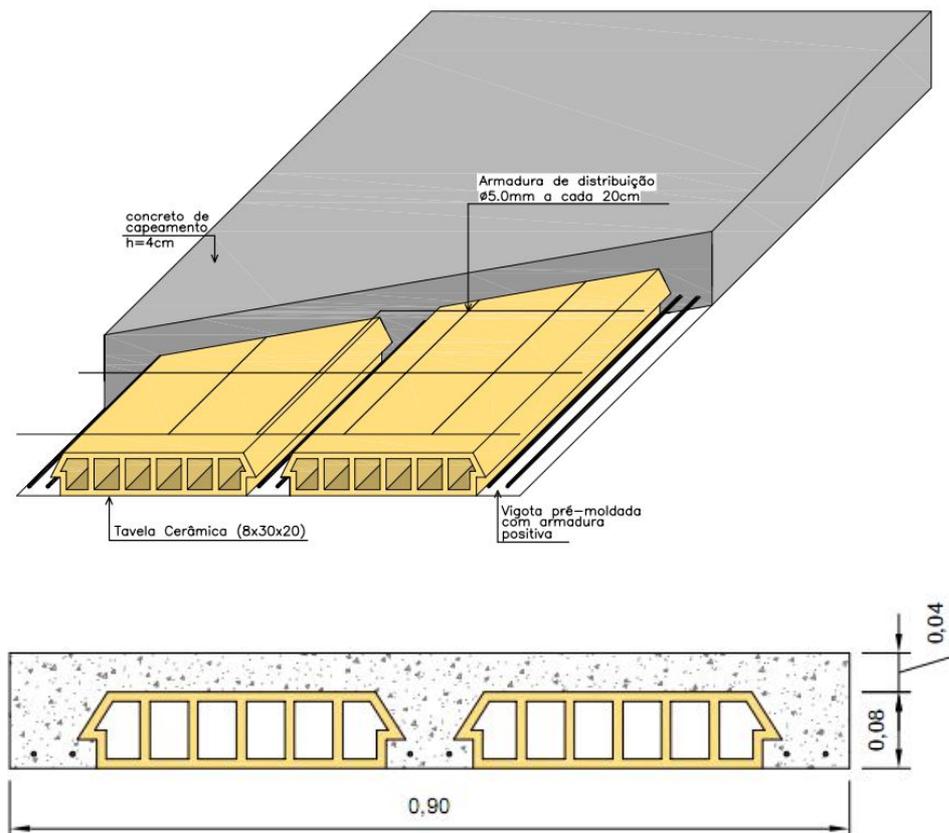
Figura 1 – Detalhamento das amostras do Grupo A



Fonte: Do autor.

O segundo grupo, denominado de Grupo B, também foi constituído de três lajes com as mesmas dimensões do Grupo A. Suas nervuras foram concretadas *in loco*, juntamente com a capa de 4 cm de concreto, tendo como armadura positiva dois fios de 5mm de diâmetro de aço CA-60 para cada nervura. Conforme representado na figura 2.

Figura 2 – Detalhamento das amostras do Grupo B



Fonte: Do autor.

Para a concretagem das amostras foi utilizado concreto usinado com f_{ck} 25 MPa, valor igual ao das vigotas pré-moldadas. Foram moldados corpos de prova e ensaiados após vinte e oito dias no LMCC- Laboratório de Materiais de construção Civil da UNESC, para comprovar se a resistência estava de acordo com a solicitada. A confecção das amostras foi realizada em um canteiro de obras de uma construtora de Criciúma-SC, que dispôs de todo o material e mão de obra necessária para a realização do estudo. A figura 3 (a), (b) e (c) mostram algumas etapas da confecção das amostras.

Figura 3.

(a) Montagem das formas



(b) Adensamento



(c) Regularização



Fonte: Do autor.

2.1 METODOLOGIA DE ENSAIO DAS LAJES

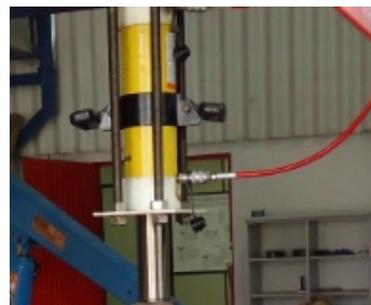
Para o ensaio realizado no LEE – Laboratório Experimental de Estruturas da UNESC, foi utilizado um pórtico metálico, um cilindro hidráulico com capacidade de 500 kN, célula de carga na base do cilindro, transdutor de deslocamento de 100mm (LVDT). Todos ligados ao sistema de aquisição de dados QUANTUM X que utiliza o software Catman Easy, ambos da marca HBM.

Figura 4.

(a) Pórtico metálico



(b) Cilindro hidráulico



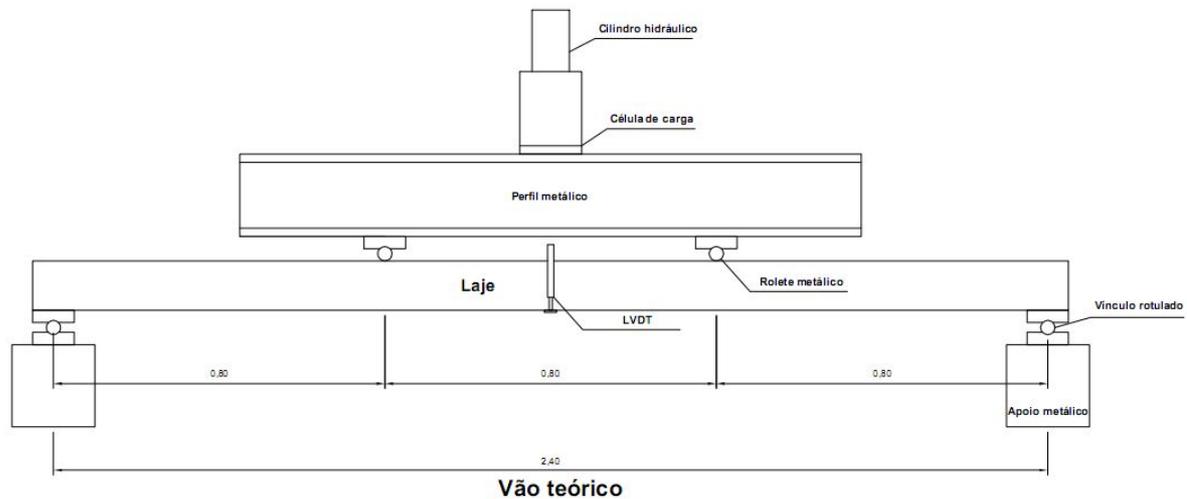
(c) LVDT



Fonte: Do autor.

Todas as amostras foram submetidas ao ensaio de flexão em quatro pontos. As cargas foram aplicadas de cima para baixo pelo cilindro hidráulico sobre um perfil metálico que transferiu o carregamento para as lajes em duas cargas pontuais divididas exatamente nos terços do vão teórico da laje. Foram utilizados dois LVDT's, um em cada lado da amostra, exatamente no centro da laje. Para a análise foi utilizada a média aritmética dos valores mensurados pelos LVDT's. O posicionamento dos equipamentos está disposto na figura 5.

Figura 5 – Posicionamento dos equipamentos.



Fonte: Do autor.

As verificações feitas de modo a analisar o comportamento de cada grupo foram realizadas em diferentes instantes de aplicação de carga:

- Quando atingido um carregamento de uso e ocupação de uma edificação residencial (ELS);
- Quando atingida a flecha máxima permitida por norma ($L/250$);
- Na ruptura.

No primeiro instante foi simulado um carregamento de uso e ocupação de uma edificação residencial e verificada a flecha de cada grupo para esse carregamento. A carga resultante para a simulação desse carregamento foi de 5,18 kN. No segundo instante foi verificado o carregamento necessário para que a laje atingisse a flecha máxima estabelecida por norma ($L/250$), foi considerado L como sendo o vão teórico da laje, no qual foi encontrado um valor para a flecha de 9,6mm. No terceiro e último instante do ensaio, foi verificado o carregamento para levar a peça à ruptura e verificada a flecha nesse instante. A figura (a), (b) e (c) demonstram o posicionamento dos equipamentos, abertura de fissuras e a deformação permanente das lajes, respectivamente.

Figura 6.

(a) Posicionamento equip. (b) Abertura de fissuras (c) Deformação



Fonte: Do autor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 FLECHA NO CARREGAMENTO DE SERVIÇO

Ao aplicar a carga determinada de 5,18 kN, foi verificado que as amostras do Grupo A tiveram um deslocamento 38,93% maior que o grupo B, cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Comportamento do Grupo A no carregamento de serviço

GRUPO A (Pré-moldada)		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje A1	5,18	2,21
Laje A2	5,18	1,57
Laje A3	5,18	1,69
Média	5,18	1,82
Desvio Padrão		0,34

Fonte: Do autor.

Tabela 3 – Comportamento do Grupo B no carregamento de serviço

GRUPO B (In loco)		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje B1	5,18	1,54
Laje B2	5,18	1,35
Laje B3	5,18	1,03
Média	5,18	1,31
Desvio Padrão		0,26

Fonte: Do autor.

3.2 CARREGAMENTO NA FLECHA MÁXIMA PERMITIDA POR NORMA

Ao aplicar a carga até atingir a flecha máxima estabelecida de 9,6mm, verificamos que o Grupo A apresentou um carregamento 49,01% maior que o grupo B para atingir a flecha determinada. Os resultados estão dispostos nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Comportamento do Grupo A na flecha máxima permitida por norma

GRUPO A (Pré-moldada)		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje A1	18,02	9,6
Laje A2	14,52	9,6
Laje A3	15,07	9,6
Média	15,87	9,60
Desvio Padrão	1,88	

Fonte: Do autor.

Tabela 5 – Comportamento do Grupo B na flecha máxima permitida por norma

GRUPO B (In loco)		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje B1	10,56	9,6
Laje B2	10,61	9,6
Laje B3	10,77	9,6
Média	10,65	9,60
Desvio Padrão	0,11	

Fonte: Do autor.

3.3 CARREGAMENTO PARA LEVAR A PEÇA A RUPTURA

Neste instante do ensaio foi aplicado um carregamento crescente até levar a peça à ruptura. Os valores encontram-se dispostos nas Tabelas 6 e 7, onde o Grupo A apresenta um carregamento 12,56% superior ao Grupo B, e uma flecha 32,45% também superior.

Tabela 6 – Comportamento do Grupo A na ruptura

GRUPO A (Pré-moldada)		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje A1	29,49	51,14
Laje A2	33,46	62,23
Laje A3	30,61	66,02
Média	31,19	59,80
Desvio Padrão	2,05	7,73

Fonte: Do autor.

Tabela 7 – Comportamento do Grupo B na ruptura

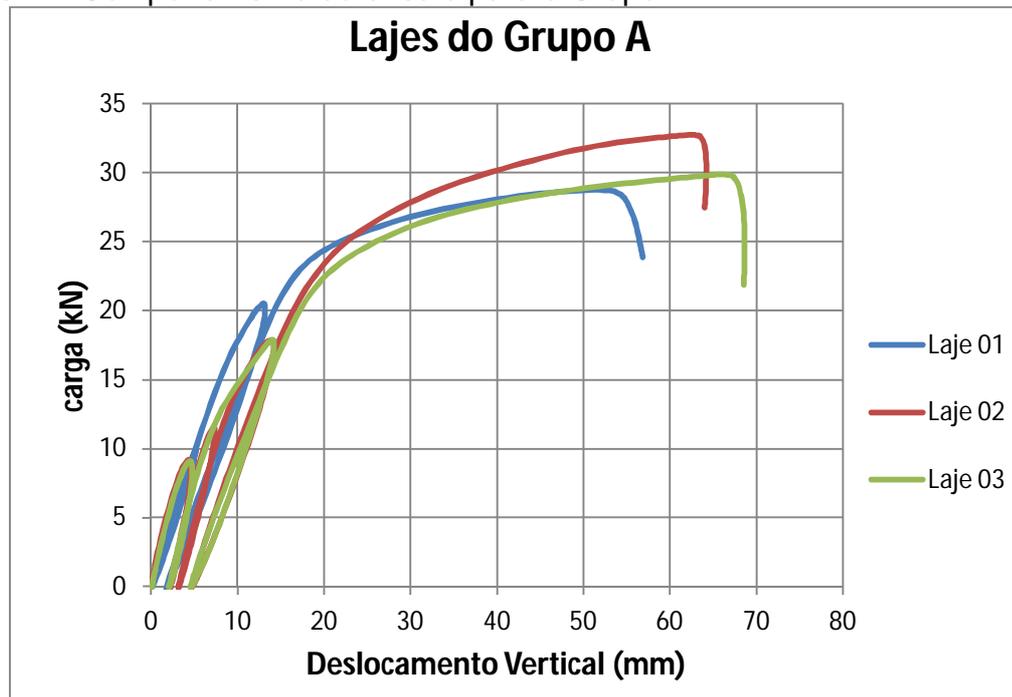
GRUPO B (In loco)		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje B1	27,75	48,23
Laje B2	26,47	43,35
Laje B3	28,92	43,87
Média	27,71	45,15
Desvio Padrão	1,23	2,68

Fonte: Do autor.

Os resultados demonstram que há um comportamento diferente entre os dois grupos estudados, tanto para a flecha como para a capacidade de suporte.

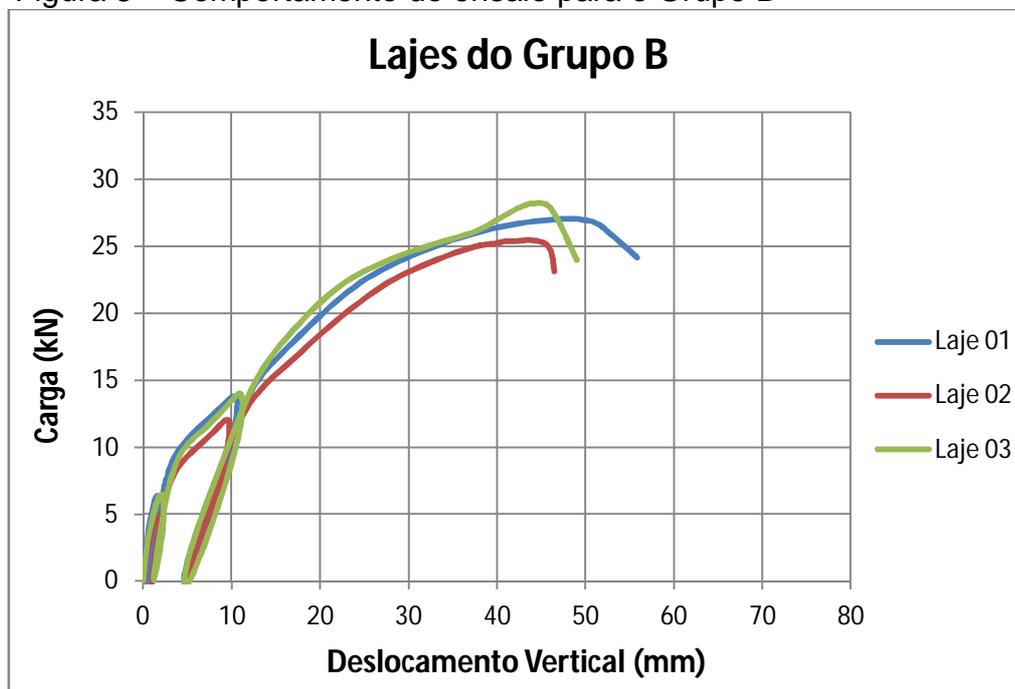
O comportamento dos ensaios na íntegra com os determinados instantes de aplicação de carga encontram-se dispostos nas Figuras 7 e 8, onde podem ser observadas claramente a diferença de comportamento entre o Grupo A e o Grupo B.

Figura 7 – Comportamento do ensaio para o Grupo A



Fonte: Do autor.

Figura 8 – Comportamento do ensaio para o Grupo B



Fonte: Do autor.

4 ANALISE ESTATÍSTICA

Realizou-se a análise estatística ANOVA (análise de variância) para verificar se os grupos A e B apresentaram resultados distintos, no que se refere:

- (a) deslocamento no estado limite de utilização (ELS) - (5,18 kN);
- (b) carga para atingir o deslocamento de L/250 - (9,6 mm);
- (c) carga máxima de ruptura;
- (d) deslocamento na carga de ruptura.

A análise estatística mostrou que apenas para o deslocamento no ELS (a) e a carga máxima de ruptura (c), os resultados foram iguais estatisticamente e nos demais testes (b) e (d) mostraram que os valores foram estaticamente diferentes. As Figuras 9, 10, 11 e 12 mostram as análises realizadas pelo software Microsoft Office Excel 2007. Para serem significativamente diferentes, **F crítico** (em vermelho) terá que ser menor que **F** (em amarelo).

Figura 9 – Análise estatística para ELS.

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
A (Pré-moldadas)	3,000	5,470	1,823	0,116
B (In loco)	3,000	3,920	1,307	0,066

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,400	1,000	0,400	4,396	0,104	7,709
Dentro dos grupos	0,364	4,000	0,091			
Total	0,765	5,000				

Fonte: Do autor

Fonte: Do autor.

Figura 10 – Análise estatística para L/250.

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
A (Pré-moldadas)	3,000	47,610	15,870	3,543
B (In loco)	3,000	31,940	10,647	0,012

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	40,925	1,000	40,925	23,027	0,009	7,709
Dentro dos grupos	7,109	4,000	1,777			
Total	48,034	5,000				

Fonte: Do autor

Fonte: Do autor.

Figura 11 – Análise estatística para a carga de ruptura.

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
A (Pré-moldadas)	3,000	93,560	31,187	4,190
B (In loco)	3,000	83,140	27,713	1,502

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	18,096	1,000	18,096	6,359	0,065	7,709
Dentro dos grupos	11,383	4,000	2,846			
Total	29,479	5,000				

Fonte: Do autor

Fonte: Do autor.

Gráfico 6 – Análise estatística da flecha na ruptura.

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
A (Pré-moldadas)	3,000	179,390	59,797	59,794
B (In loco)	3,000	135,450	45,150	7,182

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	321,787	1,000	321,787	9,609	0,036	7,709
Dentro dos grupos	133,954	4,000	33,488			
Total	455,741	5,000				

Fonte: Do autor

Fonte: Do autor.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos através deste estudo, pode-se concluir que embora haja diferença de comportamento entre os dois grupos estudados, para a situação em que é usualmente empregado esse tipo de laje, elas são estatisticamente iguais, tendo uma diferença na flecha média de 0,51mm entre o Grupo A e o Grupo B, tornando possível a utilização de qualquer um dos sistemas construtivos. Os valores foram distintos somente na carga para atingir L/250, em que o Grupo A apresentou um desempenho de 49,01% superior ao Grupo B, e para a flecha na carga de ruptura, que foi 32,45% também superior para o Grupo A.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14859-1: Laje pré-fabricada – Requisitos. Parte 1: Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002.

ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. Rio Grande, RS: Editora DUNAS, 2003. 4 v.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2003, 3ª. ed. São Carlos: Ed. Edufscar, 2009.