

AValiação EXPERIMENTAL DA CAPACIDADE PORTANTE DE LAJES TRELIÇADAS UTILIZANDO EMBALAGENS CARTONADAS COMO MATERIAL DE ENCHIMENTO APLICADAS EM DUAS DIFERENTES POSIÇÕES.

Eduardo Souza (1), Alexandre Vargas (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) eduarduusouza@hotmail.com, (2) engalexandrevargas@gmail.com

RESUMO

As lajes se classificam conforme suas características e natureza, sendo fabricadas na forma maciça, em nervuras, mistas ou compostas de vigotas e blocos cerâmicos, treliçadas, pré-fabricadas, onde são destinadas a receber as cargas verticais atuantes na estrutura. O presente trabalho analisou 9 tipos de lajes pré-moldadas com 3 diferentes materiais de apoio para a capa de compressão, onde o grupo G1 foi analisado lajes com vigotas treliçadas utilizando tabelas cerâmicas como material de apoio, no grupo G2 foi analisado lajes com vigotas treliçadas utilizando embalagens cartonadas no sentido horizontal como material de apoio e o grupo G3 foi analisado lajes com vigotas treliçadas e embalagens cartonadas no sentido vertical como material de apoio. Primeiramente foi analisado o carregamento para atingir o deslocamento máximo permitido por norma, que era de 9,5mm (L/250), posteriormente a isso foi analisado a carga máxima até a ruptura de cada laje obtendo o deslocamento máximo no momento da ruptura. Após os ensaios foram feitos as análises dos resultados, bem como uma análise estatística e análise visual, onde se conclui que os resultados dos ensaios são estatisticamente diferentes.

Palavras-chave: Lajes pré-moldadas, deslocamento máximo, carga máxima, ruptura.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Bastos (2006, p. 1), o concreto é o material feito pela mistura de cimento, água, areia (agregado miúdo), pedra ou brita (agregado graúdo) e ar. O autor explica que pode haver o acréscimo de alguns elementos, como cinza volante, pozolanas, sílica ativa, etc., além de aditivos químicos para melhorar ou modificar as suas propriedades básicas.

Souza Junior (2013, p. 3) acredita que o concreto aumenta sua resistência com o tempo e, por isso, este material se distingue dos demais materiais de construção, sendo que esta é a propriedade marcante do concreto, que é a resistência aos esforços de compressão somada à baixa resistência à tração. “A resistência à tração é da ordem de 1/10 da resistência à compressão”.

Na construção civil as lajes são produtos resultantes de fabricação por meio de componentes de concreto na forma de estruturas laminares planificadas para cargas normais, cuja função é dimensionar para as vigotas e vigas as cargas de uso, para ser aplicadas nos pisos em estruturas de modelo convencional.

Bastos (2006, p. 21) define laje como:

...são os elementos planos que se destinam a receber a maior parte das ações aplicadas numa construção, como de pessoas, móveis, pisos, paredes, e os mais variados tipos de carga que podem existir em função da finalidade arquitetônica do espaço físico que a laje faz parte. As ações são comumente perpendiculares ao plano da laje, podendo ser divididas em: distribuídas na área (peso próprio, revestimento de piso, etc.), distribuídas linearmente (paredes) ou forças concentradas (pilar apoiado sobre a laje). As ações são geralmente transmitidas para as vigas de apoio nas bordas da laje, mas eventualmente também podem ser transmitidas diretamente aos pilares.

Conforme Camacho (2004, p. 4), as lajes, geralmente, são destinadas a receber as “cargas verticais que atuam nas estruturas de um modo geral, transmitindo-as para os respectivos apoios, que comumente são vigas localizadas em seus bordos, podendo ocorrer também à presença de apoios pontuais (pilares)”.

O objetivo de estudo deste trabalho é estudar a viabilidade técnica da utilização das embalagens cartonadas em substituição as tabelas cerâmicas tradicionais, no que diz respeito à capacidade portante, sendo que foram verificados os seguintes itens:

- 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

2.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento deste estudo foram confeccionadas 10 lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas. A amostragem foi dividido em três grupos, nomeados como grupo G1 composto por L1, L2, L3, grupo G2 composto por L4, L5 e L6 e o grupo G3 composto por L7, L8 e L9, utilizando vigotas treliçadas, concreto usinado $f_{ck} = 25\text{MPa}$,

blocos cerâmicos, embalagens cartonadas, aço CA 60 e madeira para caixaria.

2.1.1 Vigotas treliçadas

Foi utilizado vigotas pré-moldadas treliçadas fornecidas por uma empresa de Orleans/SC. A produção das mesmas não foi acompanhada por impedimento da empresa fornecedora do material.

A treliça utilizada é da marca Gerdau tipo TG8M de acordo com a norma NBR 14862:2002, possui a designação TR 08645, com as seguintes especificações técnicas: altura de 8 cm, banzo inferior com 2 Ø 5 mm, aço CA 60, banzo superior com 1 Ø 6 mm e diagonais com aço CA 60 de 4.2 mm de diâmetro conforme a Figura 1.

Figura 1 – Treliça TG8M



Fonte: www.gerdau.com.br, 2013.

2.1.2 Concreto

Para a capa de compressão foi utilizado concreto usinado com $f_{ck} = 25$ MPa (resistência característica), fornecido por uma empresa de Urussanga/SC, sendo moldados 2 corpos-de-prova do concreto utilizado, ensaiados no LMCC – Laboratório de Materiais de Construção Civil, no IPARQUE – Parque Científico e Tecnológico, ambos da UNESC, para obter o valor do f_c (resistência à compressão), utilizando uma prensa modelo Emic PC2 com célula Trd 30 e software Tesc versão 3.04 de capacidade de 200 ton, para poder verificar a confiabilidade do mesmo.

Todas as amostras foram moldadas dentro de um canteiro de obras de uma construtora de Orleans/SC, onde foi cedido o espaço, material e mão de obra para a

moldagem das mesmas.

2.1.3 Bloco cerâmico

O bloco cerâmico, conhecido comercialmente como tavela cerâmica, é um tipo de bloco leve com dimensões de precisão feitos para encaixar entre vigotas e receber a capa de compressão, podendo ser fabricado com uma, duas (Figura 2), três, quatro ou mais camadas de furos. O bloco cerâmico utilizado foi a tavela cerâmica de uma empresa de Cocal do Sul/SC, com as dimensões (8x20x30) cm.

Figura 2 – Bloco cerâmico



Fonte: www.ceramicagalatto.com.br, 2013.

2.1.4 Embalagens cartonadas

Foram também utilizadas para realização deste estudo embalagens cartonadas em substituição dos blocos cerâmicos. A Figura 3 apresenta alguns tipos de embalagens cartonadas existentes no mercado.

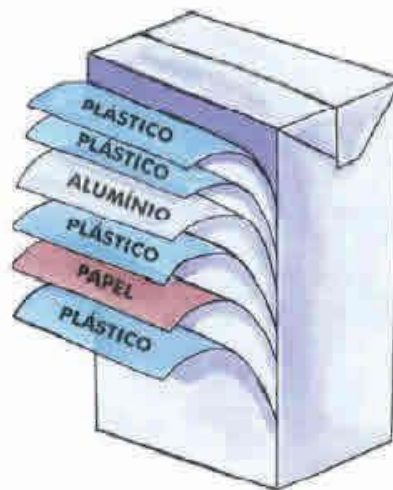
Figura 3 – Tipos de embalagens cartonadas



Fonte: www.donamilu.blogspot.com.br, 2013.

As embalagens utilizadas (Figura 4) possuem dimensões (10 x 17 x 7) cm, sendo base, altura e espessura respectivamente, lembrando que para cada estudo a embalagem foi usado em um sentido diferente.

Figura 4 – Embalagens utilizadas



Fonte: www.portalsaofrancisco.com.br, 2013.

2.1.5 Aço CA 60

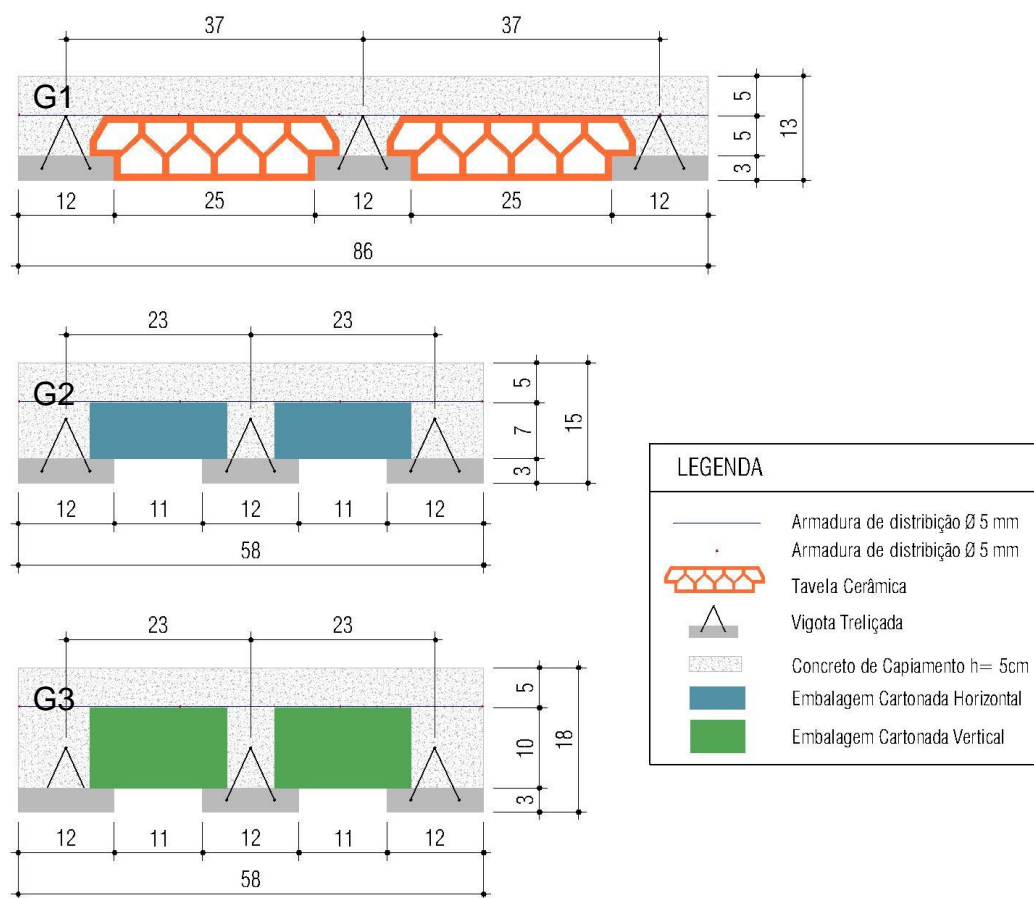
Para evitar a retração foi utilizado o aço CA 60 com diâmetro de 5.00mm, fazendo malhas a cada 20 cm na horizontal e vertical.

2.2 MÉTODO

2.2.1 Montagem das lajes

O grupo G1 (Figura 5) composto pela L1, L2, L3, foi moldado utilizando três lajes com vigotas treliçadas e blocos cerâmicos, com seção transversal de (86 x 13) cm e comprimento de 257 cm. O grupo G2 (Figura 5) composto pela L4, L5 e L6, é constituído de três lajes com vigotas treliçadas, sendo que o material de enchimento foi utilizado embalagens cartonadas com dimensão (17 x 7 x 10) cm no sentido horizontal, apresentando uma seção transversal (58 x 15) cm e comprimento de 257 cm. O grupo G3 (Figura 5) composto pela L7, L8 e L9, é constituído de três lajes com vigotas treliçadas, utilizando o mesmo material de enchimento, embalagens cartonadas com dimensão (17 x 7 x 10) cm no sentido vertical, assim apresentando uma seção transversal (58 x 18) cm e comprimento de 257 cm.

Figura 5 – Detalhamento das lajes G1, G2 e G3



Fonte: Eduardo Souza, 2013

A Figura 6 apresenta as lajes do G1, G2 e G3 moldadas conforme descrição apresentada na Figura 5.

Figura 6 – Montagem das lajes G1, G2 e G3



Fonte: Eduardo Souza, 2013.

2.2.2 Flecha máxima de acordo com a norma NBR 6118:2007

As amostras ensaiadas em laboratório possuíam um vão teórico de 237 cm, portanto, a flecha máxima permitida, para os grupos G1, G2 e G3 foi de 9,5 mm, ficando de acordo com a NBR 6118:2007 onde a flecha máxima não pode ultrapassar $L/250$, adotando L como sendo o vão teórico.

2.2.3 Ensaio de flexão em quatro pontos

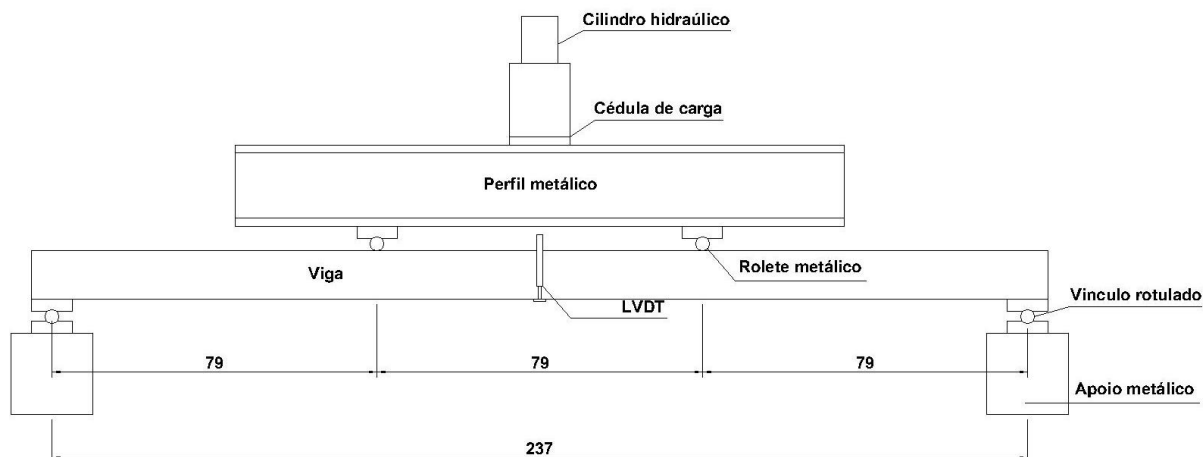
O ensaio foi realizado no LEE – Laboratório Experimental de Estruturas, no IPARQUE, sendo utilizado:

- Pórtico metálico;
- Cilindro hidráulico com capacidade de 500 kN da ENERPAC®;
- Transdutor de deslocamento (LVDT) de 100 mm da HBM®;

E para captura dos dados foi utilizado o software Catman Easy que gerou a leitura através do QUANTUM X, também da marca HBM®.

Na Figura 7 pode-se observar esquematicamente o posicionamento dos equipamentos para realização dos ensaios, foram utilizados 2 LVDT e posteriormente feito a média aritmética.

Figura 7 – Posicionamento dos equipamentos



Fonte: Eduardo Souza, 2013.

O primeiro passo foi ensaiar as lajes do grupo G1, em seguida foram ensaiadas as lajes do grupo G2 e por fim foram ensaiadas as lajes do grupo G3, conforme a Figura 8.

Figura 8 – Ensaio de flexão nos grupos G1, G2 e G3



Fonte: Eduardo Souza, 2013.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

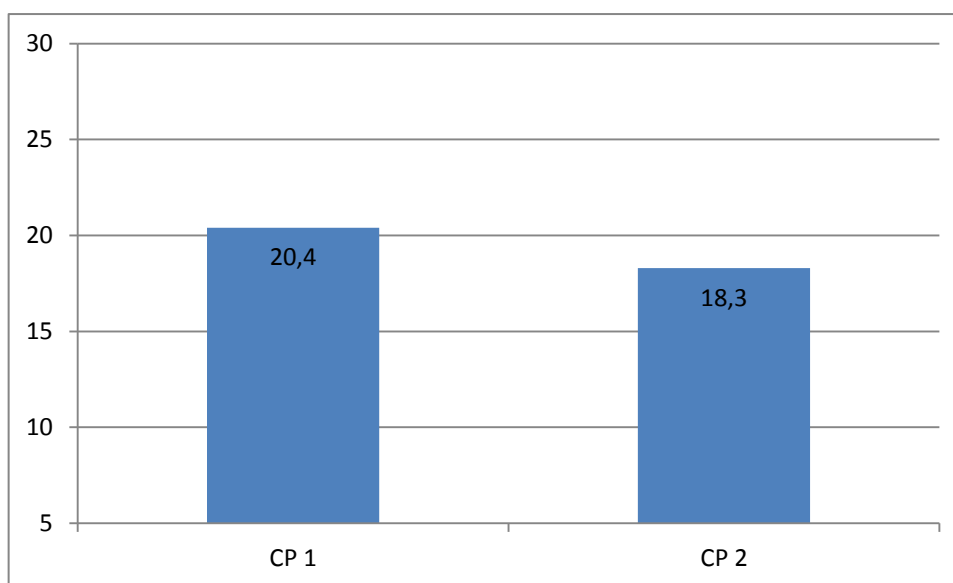
A tabela 1 apresenta os resultados obtidos do ensaio de resistência à compressão do concreto utilizado para capa, realizado no LMCC – Laboratório de Materiais de Construção no IPARQUE.

Tabela 1 – Resistência a compressão (f_c) em 28 dias das amostras

Amostra	Resistência (Mpa)
CP 1	20,4
CP 2	18,3
Média (f_{cm})	19,35
Desvio Padrão	1,48

Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Figura 9 – Resistência à compressão (f_c) em 28 dias das amostras



Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Conforme a Figura 9 observa-se que o CP 1 foi 10,29% mais resistente que o CP 2, mas ficam 22,6% abaixo da resistência necessária, que era de 25 Mpa.

3.2 CARREGAMENTO NO DESLOCAMENTO MÁXIMO PERMITIDO POR NORMA

Foi aplicada uma carga máxima até atingir o deslocamento máximo permitido por norma, que foi estabelecido em 9,5mm, conforme a norma NBR 6118/2003 (L/250). As tabelas 2, 3 e 4 apresentam os resultados obtidos no ensaio.

Tabela 2 – Carregamento no deslocamento máximo do Grupo G1

GRUPO G1		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje 1	1,15	9,5
Laje 2	1,36	9,5
Laje 10	1,58	9,5
Média	1,36	9,5
Desvio Padrão	0,22	

Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Tabela 3 – Carregamento no deslocamento máximo do Grupo G2

GRUPO G2		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje 4	1,62	9,5
Laje 5	2,14	9,5
Laje 6	1,76	9,5
Média	1,84	9,5
Desvio Padrão	0,27	

Fonte: Eduardo Souza, 2013.

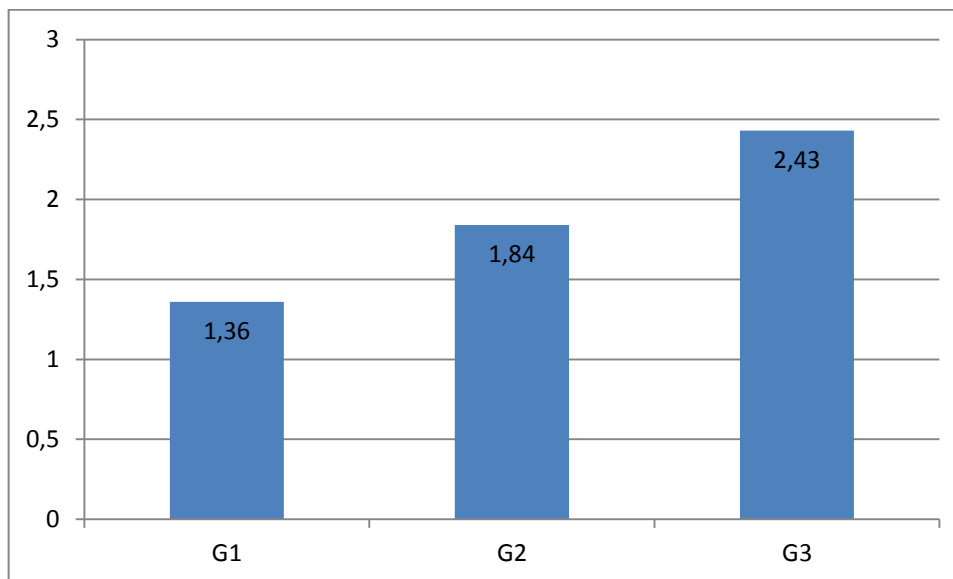
Tabela 4 – Carregamento no deslocamento máximo do Grupo G3

GRUPO G3		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje 7	2,44	9,5
Laje 8	2,38	9,5
Laje 9	2,46	9,5
Média	2,43	9,5
Desvio Padrão	0,04	

Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Figura 10: Máxima resistência no deslocamento máximo permitido por norma nos

grupos G1, G2 e G3



Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Conforme a figura 10, observa-se que o grupo G3 apresentou uma resistência 44,03% maior que o grupo G1, e o grupo G2 apresentou uma resistência 26,09% maior que o grupo G1 em relação ao deslocamento máximo permitido por norma.

3.3 CARREGAMENTO PARA LEVAR A PEÇA A RUPTURA E DESLOCAMENTO MÁXIMO

Foi aplicada uma carga crescente até que a peça venha a romper por cisalhamento, onde apresentou os resultados obtidos nas tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5 – Carregamento para levar a ruptura do Grupo G1

GRUPO G1		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje 1	2,87	58,45
Laje 2	2,93	50,57
Laje 10	3,00	50,53
Média	2,93	53,18
Desvio Padrão	0,06	

Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Tabela 6 – Carregamento para levar a ruptura do Grupo G2

GRUPO G2		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje 4	3,75	47,70
Laje 5	3,91	41,14
Laje 6	3,58	43,07
Média	3,75	43,97
Desvio Padrão	0,16	

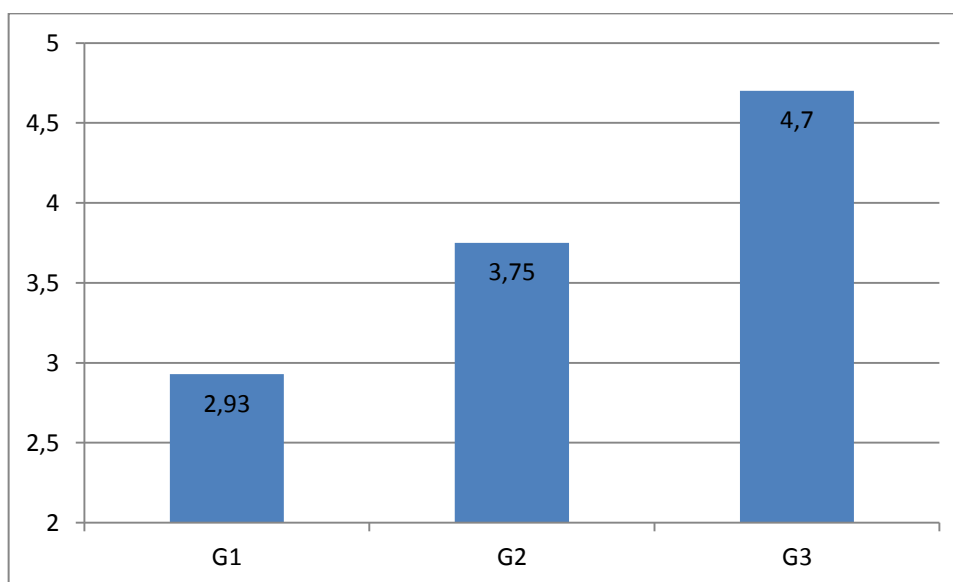
Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Tabela 7 – Carregamento para levar a ruptura do Grupo G3

GRUPO G3		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje 7	4,72	39,00
Laje 8	4,70	34,45
Laje 9	4,68	34,26
Média	4,70	35,90
Desvio Padrão	0,02	

Fonte: Eduardo Souza, 2013.

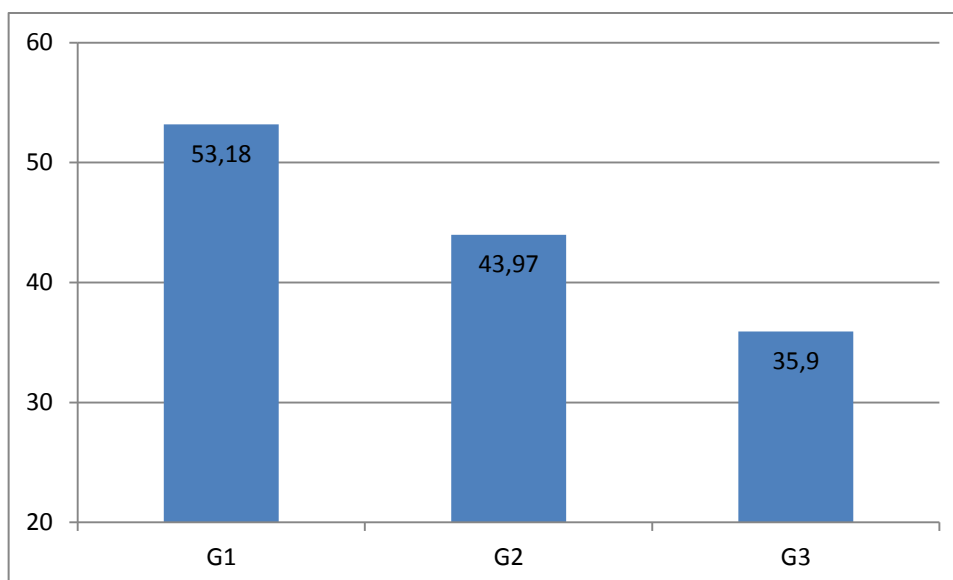
Figura 11: Carregamento máximo para levar a ruptura nos grupos G1, G2 e G3



Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Conforme a Figura 11, observa-se que o grupo G3 apresentou uma resistência 37,66% maior que o grupo G1, e o grupo G2 apresentou uma resistência 21,87% maior que o grupo G1 em relação ao carregamento máximo para levar a ruptura.

Figura 12: Deslocamento máximo na ruptura nos grupos G1, G2 e G3



Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Conforme a Figura 12, observa-se que o grupo G3 deslocou 32,49% menos que o grupo G1, e o grupo G2 deslocou 17,32% menos que o grupo G1 no momento em que o carregamento máximo levou a laje a ruptura.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para verificar se existe diferença estatística ou não nos resultados obtidos no G1, G2 e G3, aplicou-se uma análise de variância (ANOVA), utilizando o software Microsoft Office Excel, onde os resultados estão apresentados nas Figuras 13, 14, 15, 16, 17, 18.

Pode-se comprovar estatisticamente que os resultados são significativamente diferentes, pois o **F crítico** (em azul) é menor que **F** (em verde), apenas na análise para deslocamento (L/250) entre G1 e G2 que os resultados dos ensaios foram significativamente iguais.

Figura 13 – Análise estatística para deslocamento (L/250) entre G1 e G2

Anova: fator único

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
G1 (Tabela Cerâmica)	3	4,09	1,36	0,05
G2 (Embalagem cartonada horizontal)	3	5,52	1,84	0,07

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,34	1	0,34	5,75	0,07	7,71
Dentro dos grupos	0,24	4	0,06			
Total	0,58	5				

Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Figura 14 – Análise estatística para deslocamento (L/250) entre G1 e G3

Anova: fator único

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
G1 (Tabela Cerâmica)	3	4,09	1,36	0,05
G3 (Embalagem cartonada vertical)	3	7,28	2,43	0,00

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,70	1	1,70	70,72	0,00	7,71
Dentro dos grupos	0,10	4	0,02			
Total	1,79	5				

Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Figura 15 – Análise estatística para resistência a ruptura entre G1 e G2

Anova: fator único

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
G1 (Tabela Cerâmica)	3	8,80	2,93	0,00
G2 (Embalagem cartonada horizontal)	3	11,24	3,75	0,03

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,99	1	0,99	63,07	0,00	7,71
Dentro dos grupos	0,06	4	0,02			
Total	1,06	5				

Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Figura 16 – Análise estatística para resistência a ruptura entre G1 e G3

Anova: fator único

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
G1 (Tabela Cerâmica)	3	8,80	2,93	0,00
G3 (Embalagem cartonada vertical)	3	14,10	4,70	0,00

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	4,68	1	4,68	2020,86	0,00	7,71
Dentro dos grupos	0,01	4	0,00			
Total	4,69	5				

Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Figura 17 – Análise estatística para deslocamento máximo na ruptura entre G1 e G2

Anova: fator único

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
G1 (Tabela Cerâmica)	3	159,55	53,18	20,80
G2 (Embalagem cartonada horizontal)	3	131,91	43,97	11,37

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	127,33	1	127,33	7,92	0,05	7,71
Dentro dos grupos	64,34	4	16,08			
Total	191,67	5				

Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Figura 18 – Análise estatística para deslocamento máximo na ruptura entre G1 e G3

Anova: fator único

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
G1 (Tabela Cerâmica)	3	159,55	53,18	20,80
G3 (Embalagem cartonada vertical)	3	107,71	35,90	7,20

ANOVA

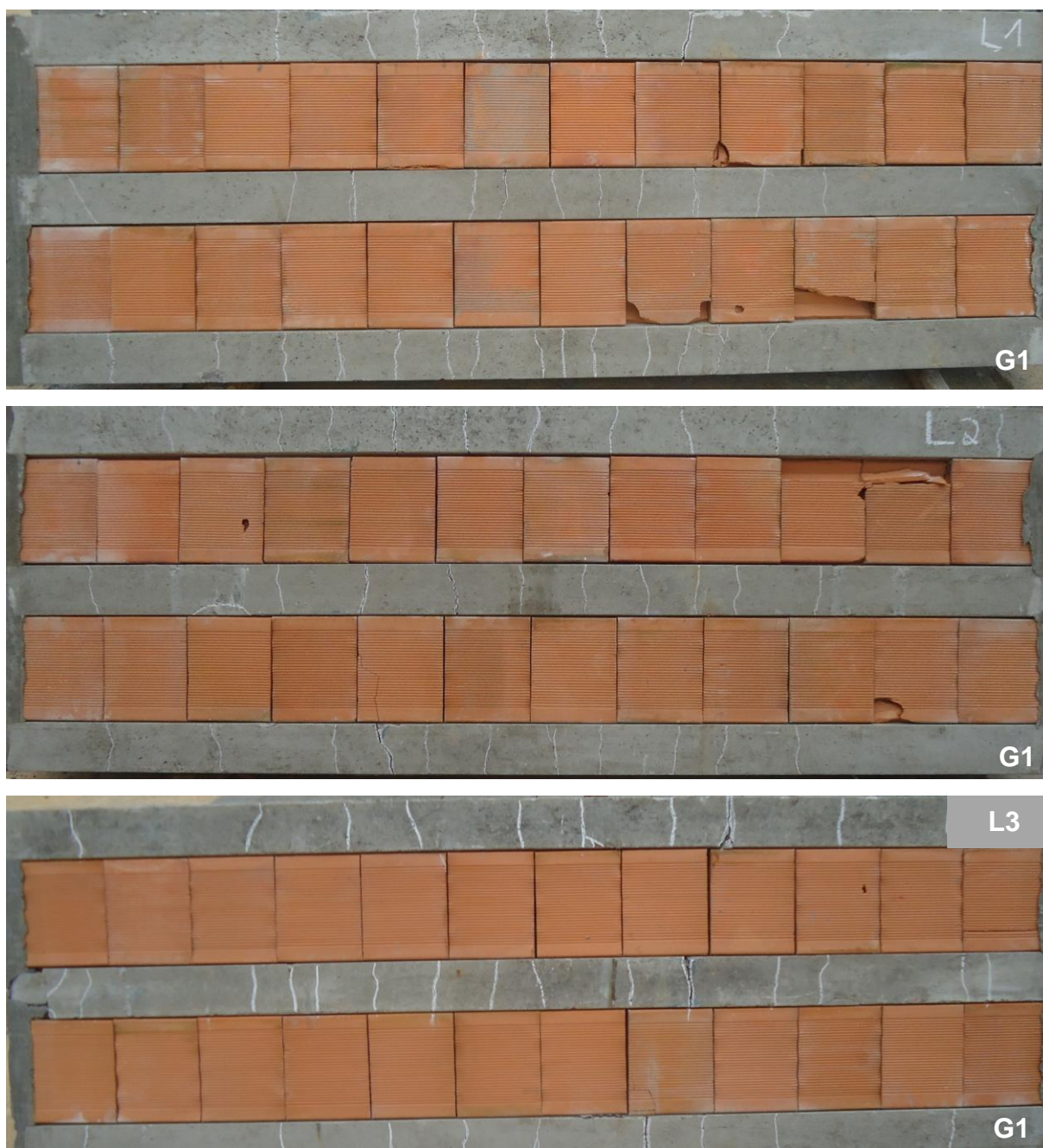
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	447,90	1	447,90	31,99	0,00	7,71
Dentro dos grupos	56,01	4	14,00			
Total	503,91	5				

Fonte: Eduardo Souza, 2013.

3.5 ANÁLISE VISUAL

A Figura 19 apresenta uma análise visual inferior após o término de cada ensaio para poder avaliar as fissuras apresentadas nas lajes de cada grupo, a Tabela 8 apresenta o número de fissuras em cada laje.

Figura 19 – Imagem inferior das lajes do G1, G2 e G3





Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Tabela 8 – Número de fissuras em cada laje

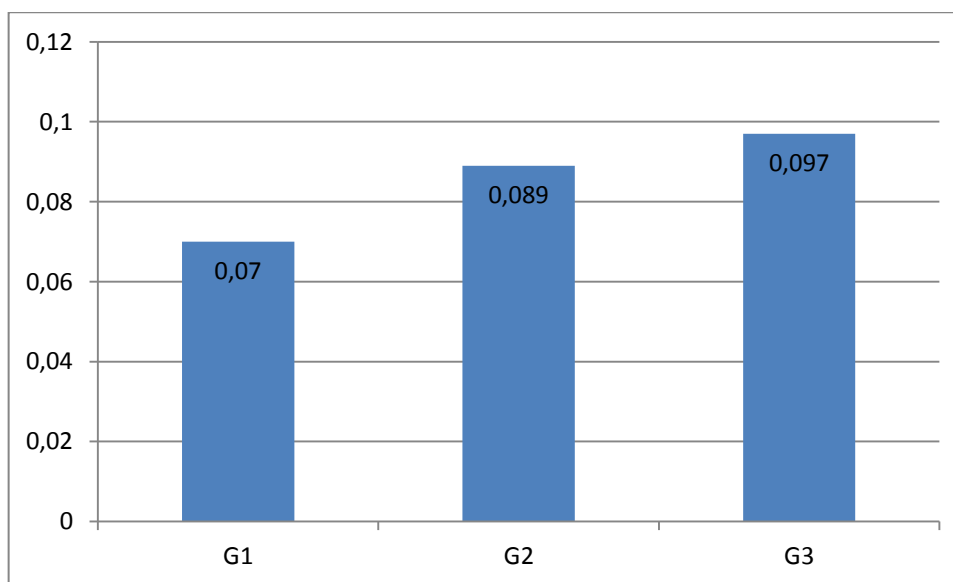
FISSURAS	
Amostra	Quantidade
Laje 1	34
Laje 2	38
Laje 3	33
Laje 4	30
Laje 5	25
Laje 6	25
Laje 7	32
Laje 8	33
Laje 9	28

Fonte: Eduardo Souza, 2013.

3.6 CONSUMO

A Figura 20 apresenta a relação de consumo de concreto por área.

Figura 20 – Consumo concreto /área (m^3/m^2)

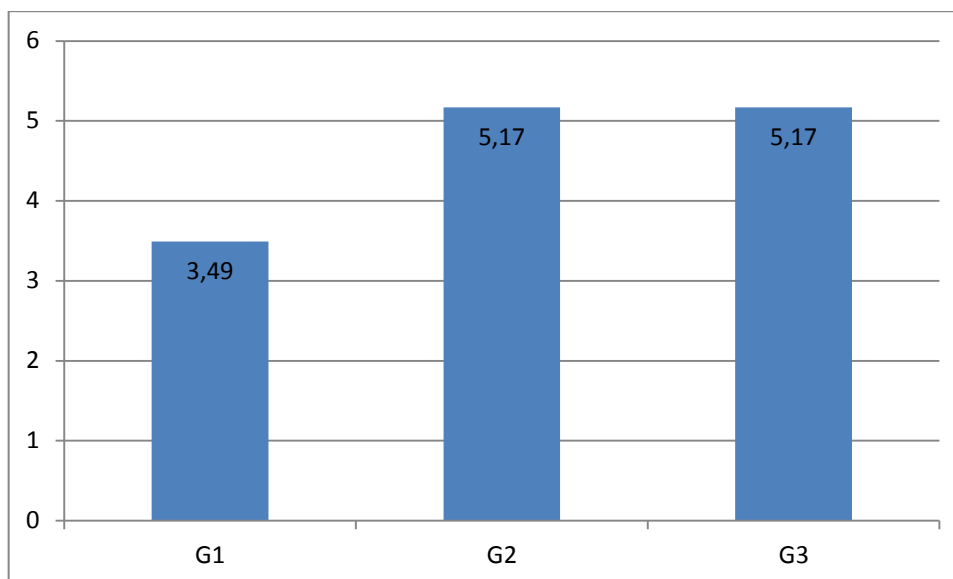


Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Conforme a Figura 20, observa-se que o G3 apresentou um consumo 27,84% maior que o grupo G1, e o grupo G2 apresentou um consumo 21,35% maior que o grupo G1.

A Figura 21 apresenta a relação de vigotas por área.

Figura 21 – Consumo vigotas /área (m^3/m^2)



Fonte: Eduardo Souza, 2013.

Conforme a Figura 21, o grupo G3 e G2 apresentou um consumo 32,50% maior que o grupo G1.

4 CONCLUSÃO

Conforme os resultados obtidos nos ensaios, pode-se concluir que apesar de as lajes com embalagens cartonadas apresentarem resultados maiores que as lajes com blocos cerâmicos, os resultados não são estatisticamente iguais, na Figura 5, observa-se que

a distância entre eixo de vigota entre as lajes do grupo G1 e as lajes dos grupos G2 e G3 é 56% maior, contribuindo para a alta capacidade de resistência a ruptura. Para se ter uma melhor análise comparativa, poderia ser refeita as lajes dos grupos G1 e G2, utilizando a mesma distância entre eixo de vigota, lançando mão de formas para parte inferior das lajes, onde sustentaria as embalagens cartonadas, podendo apresentar resultados significativamente semelhantes.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739- Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 14859-1: Laje pré-fabricada – Requisitos**. Parte 1: Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 14860-1: Laje pré-fabricada - Pré-laje – Requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 14862: Armaduras treliçadas eletrossoldadas- Requisitos**. Rio de Janeiro, 2002.

BASTOS, Paulo S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Disponível em http://www.ufvjm.edu.br/site/icet/files/2013/04/FUNDAMENTOS_Concreto.pdf acesso em 05 abr. 2013.

Blog Dona Milu. Disponível em <http://donamilu.blogspot.com.br/2010/06/embalagem-longa-vida.html> acesso em 10 jun. 2013.

CAMACHO, Jefferson S. **Curso de Concreto Armado (NBR 6118/2003): Estudo das lajes**. - UNESP 2004. Disponível em <http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Estudo%20das%20lajes.pdf> acesso em 02 abr. 2013.

Cerâmica Galatto. Disponível em www.ceramicagalatto.com.br acesso em 11 jun. 2013.

Gerdau. Disponível em www.gerdau.com.br acesso em 12 de jun. 2013.

SOUZA JUNIOR, Tarley F. **Estruturas de concreto armado**. Notas de aulas. Disponível em http://www.tooluizregio.seed.pr.gov.br/redeescola/escolas/27/2790/30/arquivos/File/Disciplinas%20Conteudos/Quimica%20Subsequente/Quimica%20Inorganica/Carlos_3_Sem_Concreto.pdf acesso em 05 abr. 2013.