

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA TRELIÇA ELETROSOLDADA NO DESLOCAMENTO VERTICAL EM VIGOTAS DE LAJE PRÉ-FABRICADAS DIMENSIONADAS COMO SEÇÃO T

Diandra Torteli Grando (1), Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)dih_torteli@hotmail.com, (2)avargas@unesc.net

RESUMO

As lajes pré-fabricadas são compostas por vigotas de concreto pré-moldado, material de enchimento inerte e capa de concreto moldada no local. As vigotas com treliça eletrosoldada supostamente, conferem a esse elemento uma rigidez superior quando comparadas as vigotas convencionais. Este trabalho tem como objetivo analisar experimentalmente a influência da treliça eletrosoldada em vigotas, considerando a parcela da capa de compressão compondo uma seção T, para avaliar os deslocamentos verticais. Para isso foram moldadas doze vigotas divididas em dois grupos. O grupo A é formado por seis vigotas de trezentos e dez centímetros de comprimento, sendo três com treliça e três convencionais com apenas armadura de combate à flexão. O grupo B é composto por seis vigotas de cento e noventa centímetros de comprimento, sendo três com treliça e três convencionais. Todas as amostras tiveram a mesma área de aço de combate à flexão e foram submetidas ao ensaio de flexão a quatro pontos com objetivo de avaliar a carga aplicada no instante do deslocamento limite admitido por norma (l/250) e no momento da ruptura. Os resultados apresentaram diferenças percentuais nos dois grupos, que do ponto de vista estatístico não são significativas.

Palavras-Chave: Treliça eletrosoldada. Vigotas pré-fabricadas. Deslocamento vertical.

1. INTRODUÇÃO

As lajes de concreto pré-fabricado oferecem uma solução econômica e versátil para pavimentos em qualquer tipo de estrutura (ELLIOTT, 2002). As vigotas pré-fabricadas podem ser vigotas de concreto armado comum, com seção transversal com a forma aproximada de um T invertido, com armadura passiva totalmente envolvida pelo concreto. Já as vigotas treliçadas são formadas por uma treliça eletrosoldada de aço e por uma placa de concreto envolvendo as barras inferiores da treliça que irão compor a armadura da face tracionada da laje (DROPPA JÚNIOR, 1999).

Arcellormittal (2010, p. 04) descreve as treliças como elemento que

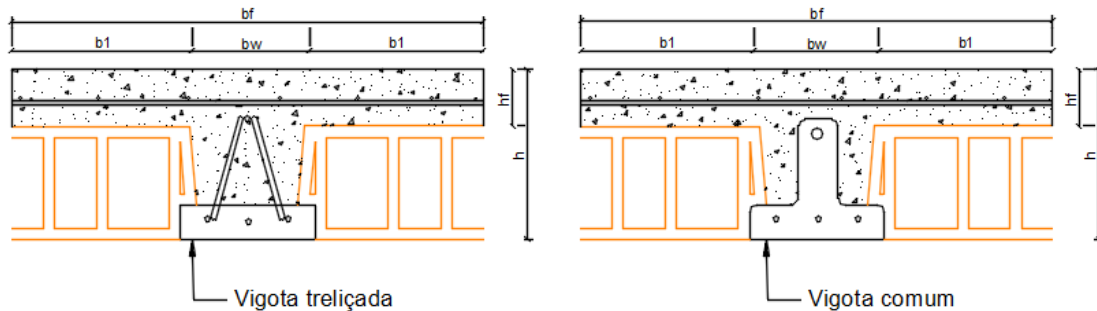
É constituída por um fio superior (banzo superior), que atua como armadura de compressão durante a montagem e concretagem da laje treliçada, e pode colaborar na resistência ao momento fletor negativo (em regiões de apoio central); dois fios inferiores (banzo inferior), os quais resistem às forças de tração oriundas do momento fletor positivo; as diagonais ou sinusoides, que, além de funcionarem como armadura resistente às forças cortantes (quando forem altas), servem para promover uma perfeita coesão ou aderência entre o concreto pré-moldado da vigota e o concreto do capeamento (moldado in loco).

Para Silva (2013, p. 02) “As treliças surgiram como um sistema estrutural mais econômico que as vigas convencionais para vencer vãos maiores ou suportar cargas mais elevadas”. Segundo Cunha (2012, p. 01) “Como a sua fabricação é simples e não envolve equipamentos caros ou de difícil manutenção, estas vigotas se tornam uma opção bem acessível”. De acordo com a NBR 6118:2014 (item 14.6.2.2), quando uma estrutura for modelada sem a consideração automática da ação conjunta de lajes e vigas, esse efeito pode ser considerado mediante a adoção de uma largura colaborante da laje associada à viga, compondo uma seção transversal T. A consideração da seção T pode ser feita para estabelecer as distribuições de esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos na estrutura. A largura colaborante “ b_r ” deve ser dada pela largura da viga “ b_w ” acrescida de no máximo 10 % da distância entre pontos de momento fletor nulo para cada lado da viga que houver laje colaborando, respeitando os demais limites impostos pela teoria vigente. Para Silva (2012, p. 52) “A função principal da parcela de concreto empregado nas vigotas pré-fabricadas tipo trilho (vigota de concreto e protendida) é a de posicionar e proteger a armadura longitudinal de tração contra a corrosão”. Para Caio (2014), Costa (2013), Merlin (2002) e Silva (2012) a armadura de distribuição na capa de compressão influencia na redução dos efeitos da fissuração. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo dar continuidade ao estudo de Diniz (2017), analisando experimentalmente a influência da treliça eletrosoldada em vigotas utilizadas em lajes pré-fabricadas, nos deslocamentos verticais, considerando a parcela da capa de compressão compondo uma seção T.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho, foram moldadas doze vigotas de concreto com seção T, conforme ilustrado na Figura 01.

Figura 01: Seção transversal das amostras.



Fonte: Do autor (2018).

Onde:

bw - Largura real da nervura;

bf - Largura colaborante da mesa de compressão;

hf - Espessura da mesa;

h - Espessura total da laje;

b1 - Distância entre vigas.

As doze vigotas foram divididas em dois grupos. O grupo A é composto por seis vigotas de trezentos e dez centímetros de comprimento sendo três delas com treliça (VT) e três compostas apenas por armadura de combate à flexão (VC). O grupo B, também composto por seis vigotas de cento e noventa centímetros de comprimento sendo três delas com treliça (VT) e três compostas apenas por armadura de combate à flexão (VC). A Tabela 01 apresenta a composição das amostras.

Tabela 01: Composição dos grupos de amostras.

GRUPO A	QUANT.	COMPRIMENTO (cm)	TRELIÇA
VT	03	310	SIM
VC	03	310	NÃO
GRUPO B	QUANT.	COMPRIMENTO (cm)	TRELIÇA
VT	03	190	SIM
VC	03	190	NÃO

Fonte: Do autor (2018).

2.1 MATERIAIS

2.1.1 Treliças

O modelo da treliça utilizado foi o TG 8 L da Gerdau com designação TR 08644, com altura de 80 mm, peso 0,735 kg/m, barra no banzo superior de 6,0 mm, com fios diagonais e banzo inferior de 4,2 mm.

2.1.2 Armadura de flexão sem utilização da treliça

As vigotas sem treliça foram armadas apenas com armadura longitudinal sendo utilizada uma barra de aço CA-60 com diâmetro de 6,0 mm no banzo superior e três no banzo inferior com diâmetro de 4,2 mm, para que houvesse equivalência entre as armaduras.

2.1.3 Concreto

O concreto que compõe as vigotas e a capa de compressão é do tipo C20 e atende às especificações das normas NBR 6118:2014, NBR 8953:2015 e NBR 12655:2015 conforme NBR 14859:2016 exige.

2.1.4 Vigotas pré-fabricadas

As vigotas pré-fabricadas foram produzidas e fornecidas por uma fábrica de artefatos de cimentos localizada no município de Cocal do Sul – SC.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Definição da largura colaborante da laje

A largura da mesa de compressão adotada segue as teorias da seção T consagradas na literatura e a espessura foi estabelecida em 4 cm.

Na Tabela 02 são apresentadas as dimensões da seção em estudo onde a é o vão efetivo da vigota.

Tabela 02: Dimensões da seção T.

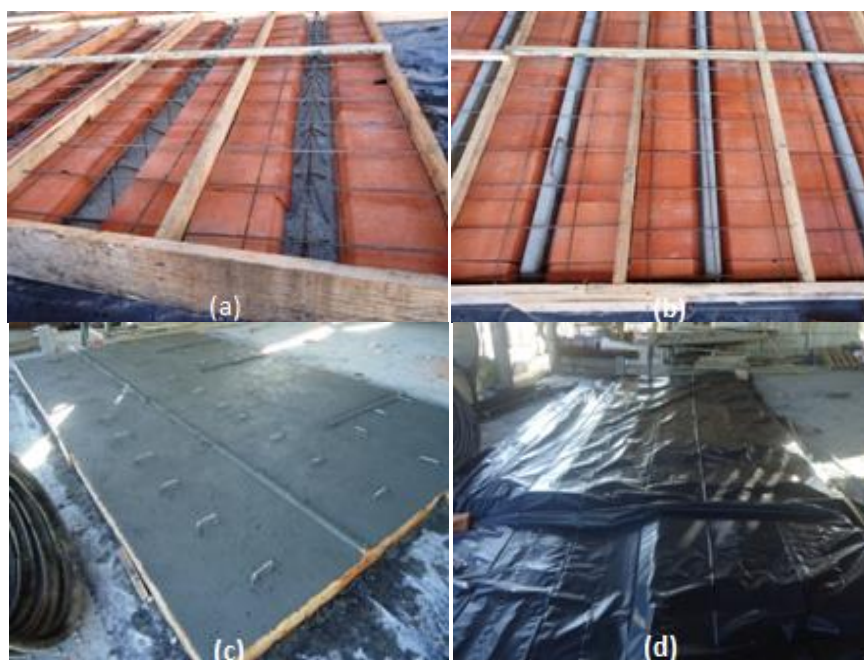
GRUPO A	bw (cm)	bf (cm)	hf (cm)	h (cm)	b1 (cm)	a (cm)
VT	12	42	04	12	15	310
VC	09	39	04	12	15	310
GRUPO B	bw (cm)	bf (cm)	hf (cm)	h (cm)	b1 (cm)	a (cm)
VT	12	42	04	12	15	190
VC	09	39	04	12	15	190

Fonte: Do autor (2018).

2.2.2 Concretagem das amostras

Todas as vigotas foram concretadas sendo que, para a formação da mesa de compressão, foram utilizados tabelas cerâmicas como elemento de preenchimento inerte na zona tracionada das lajes. Para a constituição da capa de compressão foi utilizado concreto do tipo usinado C20 sendo adicionada uma malha eletrosoldada de aço 4,2 mm que se estende ao longo da laje. O processo é o mesmo para os grupos A e B. Na Figura 02 é possível visualizar o processo de execução.

Figura 02: Montagem das formas: Vigota treliçada (a) e Vigota comum (b);
Concretagem (c); Processo de cura (d).



Fonte: Do autor (2018).

2.2.3 Controle tecnológico

Para a obtenção do controle tecnológico do concreto foi realizada a verificação da trabalhabilidade com *slump-test* (abatimento de tronco de cone). Na sequência, foram moldados seis corpos de provas para a caracterização quanto à Resistência a Compressão Axial ensaiados aos sete e aos vinte e oito dias e três corpos de prova para o Módulo de Elasticidade. Esses ensaios foram realizados no LMCC – Laboratório de Materiais de Construção Civil localizado no Iparque – Parque Científico e Tecnológico da UNESC, respeitando os critérios da NBR 5739:2018.

2.2.4 Deslocamento limite de acordo com a norma

Segundo a NBR 6118:2014 o deslocamento limite admitido é de $l/250$. O comprimento teórico para o grupo A é de 300 cm resultando num deslocamento limite de 12,00 mm, e para o grupo B o comprimento teórico é de 180 cm resultando num deslocamento limite de 7,20 mm.

2.2.5 Ensaio de flexão a quatro pontos

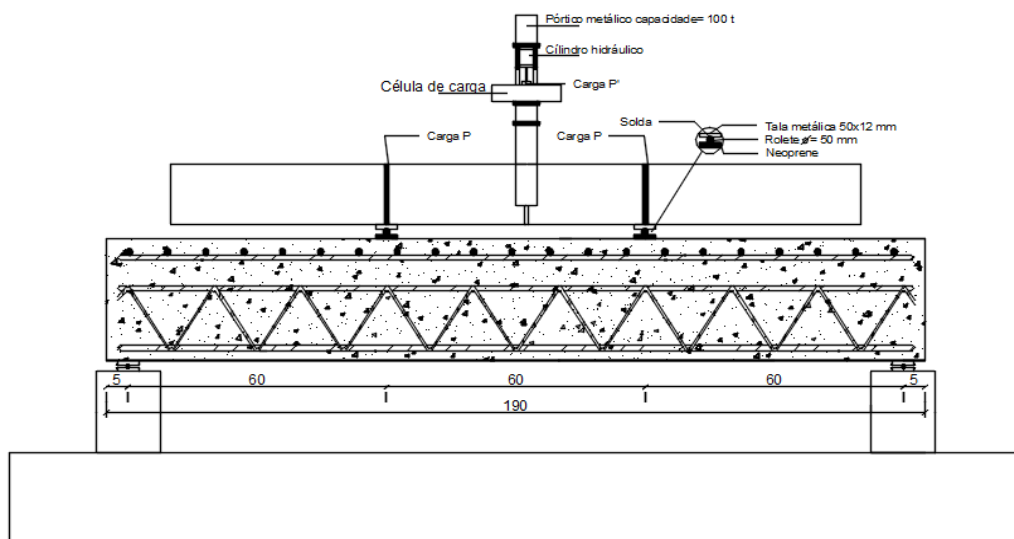
As doze amostras, após vinte e oito dias, foram submetidas ao ensaio de flexão a quatro pontos com objetivo de avaliar as cargas atuantes no instante em que a peça atingisse a flecha máxima admitida por norma e no momento da ruptura. Para obtenção desses resultados foi utilizado um cilindro hidráulico da marca ENERPAC com capacidade de 500 kN sob um pórtico metálico, dois LVDTs (Linear Variable Differential Transformer) com capacidade de leitura de 100 mm da marca HBM®. Para a aquisição dos dados esses dispositivos foram conectados ao sistema Quantum X® que utiliza o software CatmanEasy® da marca HDM®. Os ensaios de flexão foram realizados no LEE – Laboratório Experimental de Estruturas, localizado no Iparque – Parque Científico e Tecnológico da UNESC. A Figura 03 mostra uma imagem do ensaio de flexão a quatro pontos, enquanto o esquema utilizado no ensaio onde os pontos de aplicação das cargas foram diretamente sobre um perfil metálico de modo a transferir duas cargas pontuais nos terços médios está ilustrado na Figura 04.

Figura 03: Realização do ensaio.



Fonte: Do autor (2018).

Figura 04: Esquema de ensaio.



Fonte: Do autor (2018).

Foi realizada uma análise estatística comparando as médias das vigotas com treliça com as médias das vigotas apenas com armadura longitudinal, usando o teste t. Em todos os testes estatísticos adotou-se o nível de significância de 5 % ($\alpha = 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO

O resultado obtido no ensaio do *slump-test* obteve um abatimento de 30 mm que é considerado uma consistência firme. Quanto ao ensaio de Resistência Característica à Compressão Axial na Tabela 03 são apresentados os resultados médios e a evolução da resistência com a idade.

Tabela 03: Resistência à compressão aos 07 e 28 dias.

07 dias		28 dias	
Repetições	Resistência (MPa)	Repetições	Resistência (MPa)
CP1	11,60	CP4	18,70
CP2	13,40	CP5	18,90
CP3	12,00	CP6	18,10
Média	12,33	Média	18,57
Desvio Padrão	0,95	Desvio Padrão	0,42

Fonte: Do autor (2018).

A Tabela 04 apresenta os resultados encontrados para o módulo de elasticidade.

Tabela 04: Módulo de elasticidade aos 28 dias.

Repetições	Ec (GPa)
CP 1	27,66
CP 2	27,22
CP 3	32,10
Média	28,99
Desvio Padrão	2,70

Fonte: Do autor (2018).

Segundo a NBR 14859:2016 a resistência mínima de compressão aos vinte e oito dias é de 20 MPa. A média de resistência dos corpos de prova ficou em 18,57 MPa o que representa uma diferença percentual de 7,15 % abaixo do previsto, caracterizando um concreto não conforme.

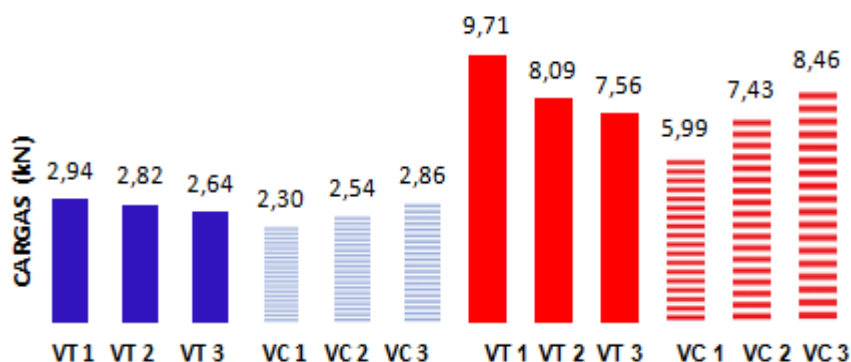
3.2 CARGA NO DESLOCAMENTO LIMITE PERMITIDO POR NORMA

Verificou-se que, no instante do deslocamento limite para o grupo A de 12,00 mm, a média das cargas para as VTs foi de 2,80 kN, o que representa um acréscimo de

8,95 % em comparação com a média de 2,57 kN das cargas das vigotas VCs, contudo, estatisticamente, não houve diferença significativa entre as médias ($p = 0,1369$). Para o grupo B após analisar os resultados no instante do deslocamento limite de 7,20 mm, a média das cargas para as VTs foi de 8,45 kN, o que caracteriza um acréscimo de 15,91 % em comparação com a média de 7,29 kN das cargas das vigotas VCs, porém, também aqui não houve diferença significativa ($p = 0,1478$). Na Tabela 05 estão apresentados os valores para os dois grupos.

Tabela 05: Resultados dos grupos para o deslocamento limite.

GRUPO A - (310 cm)				GRUPO B - (190 cm)			
Com treliça		Com armadura longitudinal		Com treliça		Com armadura longitudinal	
Repetições	Carga (kN)	Repetições	Carga (kN)	Repetições	Carga (kN)	Repetições	Carga (kN)
VT 1	2,94	VC 1	2,30	VT 1	9,71	VC 1	5,99
VT 2	2,82	VC 2	2,54	VT 2	8,09	VC 2	7,43
VT 3	2,64	VC 3	2,86	VT 3	7,56	VC 3	8,46
Média	2,80	Média	2,57	Média	8,45	Média	7,29
Desvio padrão	0,15	Desvio padrão	0,28	Desvio padrão	1,12	Desvio padrão	1,24



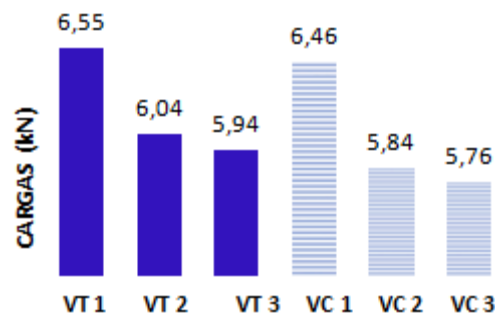
Fonte: Do autor (2018).

3.3 CARGA PARA ALCANÇAR A RUPTURA

Após estabelecer o deslocamento limite, seguiu-se aplicando carregamento crescente até levar a peça à ruptura. Os valores encontrados nas amostras do grupo A encontram-se disposta na Tabela 06.

Tabela 06: Resultados do grupo A - (310 cm).

Com treliça			Com armadura longitudinal		
Repetições	Carga (kN)	Deslocamento (mm)	Repetições	Carga (kN)	Deslocamento (mm)
VT 1	6,55	78,37	VC 1	6,46	60,31
VT 2	6,04	66,34	VC 2	5,84	85,61
VT 3	5,94	60,52	VC 3	5,76	71,75
Média	6,18	68,41	Média	6,02	72,55
Desvio padrão	0,33	9,10	Desvio padrão	0,39	12,67

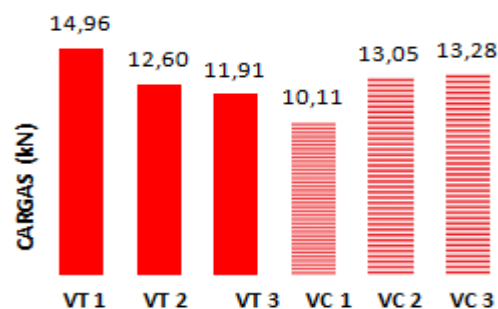


Fonte: Do autor (2018).

Conforme verificado nos resultados acima, embora as VTs apresentem um acréscimo de 2,66 % na carga média para a ruptura e uma diminuição no deslocamento vertical de 5,71 % em comparação com as médias respectivas das vigotas VCs elas não apresentam diferença significativa ($p = 0,3094$). A Tabela 07 apresenta o comportamento das amostras do grupo B levadas à ruptura.

Tabela 07: Resultados do grupo B - (190 cm).

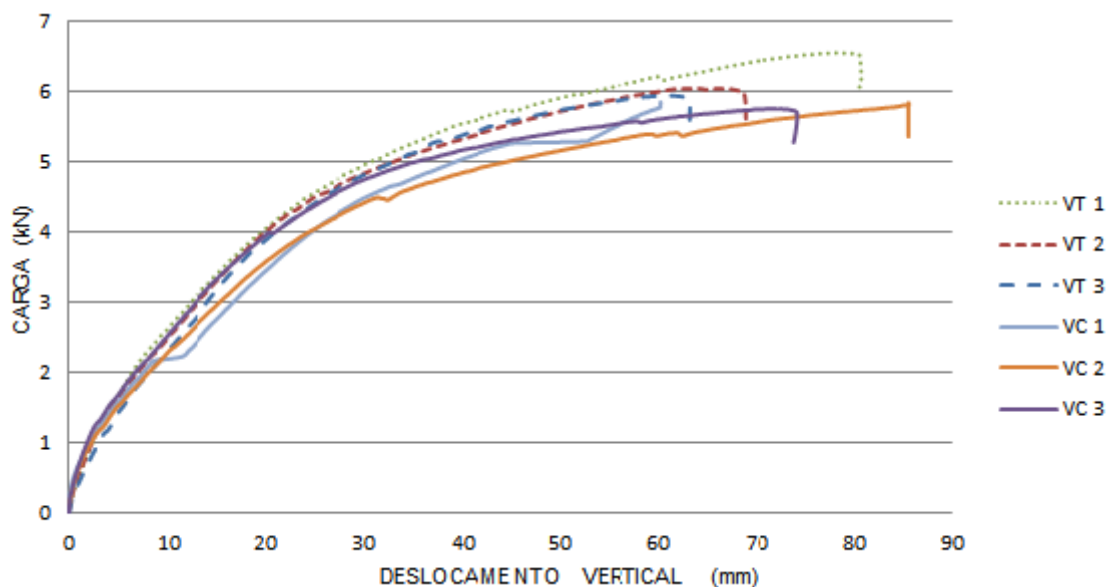
Com treliça			Com armadura longitudinal		
Repetições	Carga (kN)	Deslocamento (mm)	Repetições	Carga (kN)	Deslocamento (mm)
VT 1	14,96	36,53	VC 1	10,11	26,55
VT 2	12,60	26,30	VC 2	13,05	33,97
VT 3	11,91	29,39	VC 3	13,28	35,30
Média	13,16	30,74	Média	12,15	31,94
Desvio padrão	1,60	5,25	Desvio padrão	1,77	4,72



Fonte: Do autor (2018).

Como pode se observar as VTs resultam em um aumento de 8,31 % na carga média para a ruptura e uma redução de 3,76 % no deslocamento vertical em relação aos resultados obtidos pelas amostras VCs. Entretanto essa diferença não foi estatisticamente significativa ($p = 0,2519$). A Figura 05 apresenta os deslocamentos verticais ao decorrer do ensaio para o grupo A e na Figura 06, os resultados para o grupo B.

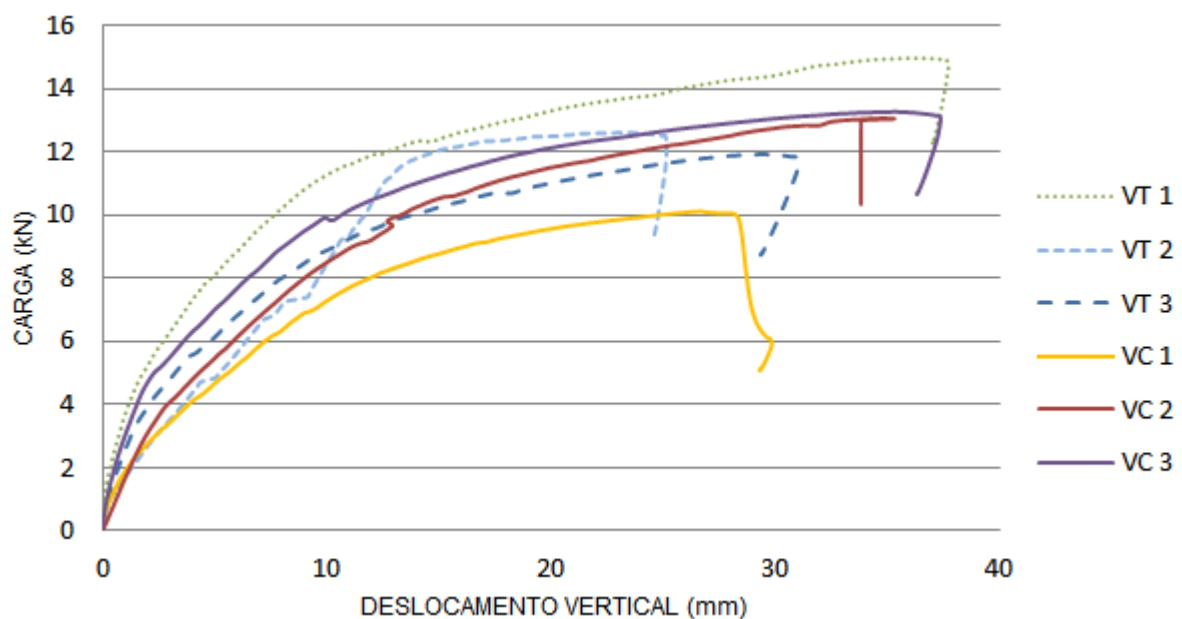
Figura 05: Gráfico carga x deslocamento para o grupo A - (310 cm).



Fonte:

Do autor (2018).

Figura 06: Gráfico carga x deslocamento para o grupo B - (190 cm).



Fonte: Do autor (2018).

4. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados, constatou-se, que para o grupo A (310 cm de comprimento), as vigotas treliçadas obtiveram um aumento na carga no momento do deslocamento limite de 8,95 % e na carga para ruptura de 2,66 % enquanto o deslocamento vertical na ruptura ocorreu uma diminuição de 5,71 % em relação às vigotas armadas apenas com armadura longitudinal. No grupo B (190 cm de comprimento), as vigotas treliçadas alcançaram um acréscimo de carga no momento do deslocamento limite de 15,91 % e na carga para ruptura de 8,31 % enquanto o deslocamento obteve uma redução de 3,76 % em relação às vigotas armadas apenas longitudinalmente. Mesmo com seção transversal maior, e com presença de treliça que possibilita maior aderência quando comparada com a convencional, as diferenças percentuais entre as cargas aplicadas não são estatisticamente significativa. Pela análise estatística dos resultados conclui-se que não houve diferença significativa nos resultados entre a vigota treliçada e a vigota armada apenas com armadura de combate à flexão, contrariando assim, a hipótese inicial.

Para futuros trabalhos, sugere-se realizar uma análise comparativa entre lajes com vigotas treliçadas e lajes com vigotas com armadura longitudinal.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCELORMITTAL. **Manual Técnico de Lajes Treliçadas**. Manual Técnico de Lajes Treliçadas da empresa AcelorMittal, Criciúma, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: procedimentos**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953: concreto Para Fins Estruturais**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: concreto de cimento Portland**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859: Laje pré-fabricada – Requisitos Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**, Rio de Janeiro, 2018.

CAIO, Felipe. **Análise comparativa entre sistemas estruturais de lajes maciças e nervuradas treliçadas.** 2014. 77 f. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário UNIVATES, Rio Grande do Sul, 2014.

COSTA, Bruno da Silva. **Avaliação experimental da efetividade da capa de compressão no dimensionamento como seção “t” em vigotas de lajes pré-fabricadas de concreto armado.** 2013. 13 F. Trabalho apresentado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2013.

CUNHA, Mateus Ortiga. **Recomendações para projetos de lajes formadas por vigotas com armação treliçada.** 2012. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

DINIZ, Sírnia Maria da Silva. **Avaliação experimental da influência da treliça eletrosoldada na flecha de vigotas pré-moldadas.** Trabalho apresentado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2017.

DROPPA JR, Alonso. **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada.** 1999. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ELLIOTT, Kim S. **Precast Concrete Structures.** Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2002.

MERLIN, Andrei José. **Momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por vigotas de concreto protendido.** 2002. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2002.

SILVA, Bernard Rigão da. **Contribuições à análise estrutural de lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas.** 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado Área de Concentração Construções Civil (estruturas) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012.

SILVA, Ramon Saleno Y. C. **Análise de Treliças Planas.** Material de aula apresentado no curso de Engenharia Civil da Universidade Paulista, Campus de Brasília, 2013.