

Análise experimental da influência de estribos com inclinação alternada na resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armado com diferentes alturas

Marco Aurélio Espindola Pereira Junior (1), Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) marco.p.jrr@gmail.com , (2) avargas@unescc.net

Resumo: Os estribos em vigas, usualmente são dispostos à 90° em relação ao eixo longitudinal. A possibilidade de incremento na capacidade portante ao cisalhamento em vigas utilizando estribos com inclinações de 90° e 45° de forma alternada foi o objetivo desse estudo. Foram confeccionadas 18 vigas de concreto armado com 2,10 m de comprimento por 12 cm de largura divididas em 2 grupos principais, um de referência com estribos unicamente à 90° e outro com o modelo de estribos alternados, de 90° e 45° em relação ao eixo longitudinal da viga, com armaduras transversais igualmente espaçadas. Cada grupo de 9 vigas foi dividido em 3 alturas; 30 cm, 40 cm e 50 cm. Foram realizados ensaios aplicando a carga diretamente na viga a uma distância equivalente ao cateto adjacente de um triângulo retângulo com origem na face do apoio. As vigas com estribos alternados de 30 cm de altura tiveram um incremento de carga de aproximadamente 12,8% no momento da ruptura em relação ao grupo de referência, o grupo de 50cm de altura obteve um acréscimo de aproximadamente 15,5%. Apenas o grupo de 40 cm de altura que apresentou um decréscimo de 16,1% em relação ao grupo de referência.

Palavras-chave: estribos; inclinação; cisalhamento.

Experimental analysis of the influence of alternating stirrups inclination on shear strength of reinforced concrete beams with different heights

Abstract: The stirrups in beams are usually arranged at 90° to the horizontal axis. The possibility of increasing the carrying capacity of shear beams using stirrups of 90° and 45° alternately was the objective of this study. Eighteen reinforced concrete beams, 2,10 m long and 12 cm wide, were made and divided into 2 main groups; one reference with stirrups only at 90° and the other with the alternating stirrups model, 90° and 45° with respect to the longitudinal axis of the beam, with equally spaced transverse reinforcement. Each group of 9 beams was divided into 3 heights, 30 cm, 40 cm and 50 cm. Tests were performed by applying the load directly to the beam at a distance equivalent to the adjacent collet of a rectangular triangle on the face of the support. The beams with 30 cm alternating stirrups had a load increment of approximately 12,8% at the moment of rupture in relation to the reference group;

the 50 cm height group obtained an increase of approximately 15,5%. Only the 40cm height group that showed a 16,1% decrease compared to the reference group.

Key-words stirrups; inclination; shear.

Introdução

Usualmente as vigas de concreto armado utilizam estribos verticais como armadura de combate ao cisalhamento. A NBR 6118:2014 admite o uso de estribos com inclinação entre 45° e 90° para essa função, mas não há a opção normativa de cálculo com alternância entre esses dois extremos, pois a equação que determina V_{rd2} (força cortante resistente de cálculo) no modelo de cálculo 1 fixa o ângulo dos estribos em $\alpha = 90^\circ$ como constatado por Duarte (2008), o que não permite o uso da mesma para estimativa da resistência da viga ao cisalhamento quando se utilizar estribos alternados.

Segundo Leonhardt e Monnig (2008) estribos inclinados a 45° são mais eficientes para resistir ao esforço cortante pois a tensão principal de tração no Estádio I coincide com a direção da armadura de cisalhamento. Zamri (2018) demonstra em seu estudo que o uso de estribos inclinados aumenta em 20% a resistência ao cisalhamento em comparação com vigas de referência.

A alternância dos estribos tem o objetivo de interceptar perpendicularmente as rachaduras formadas pelo esforço cortante que se iniciam próximas ao apoio e se estendem com ângulo de 45° até a face mais comprimida. O presente trabalho, segue a linha de pesquisa iniciada por Oliveira (2018), sendo assim, a continuação dos estudos utilizando estribos alternados. Foi concluído que, para o ensaio de flexão a quatro pontos as vigas com estribos alternados tiveram uma redução do deslocamento máximo em 13,6% em relação as vigas com estribos apenas à 90°. Esse estudo tem como objetivo avaliar a eficácia deste modelo de armadura transversal alternada no combate ao cisalhamento para vigas com alturas de 30 cm, 40 cm e 50 cm. A Figura 1, demonstra e compara a disposição dos estribos nos dois modelos em uma viga de 50 cm de altura, cotas em centímetros.

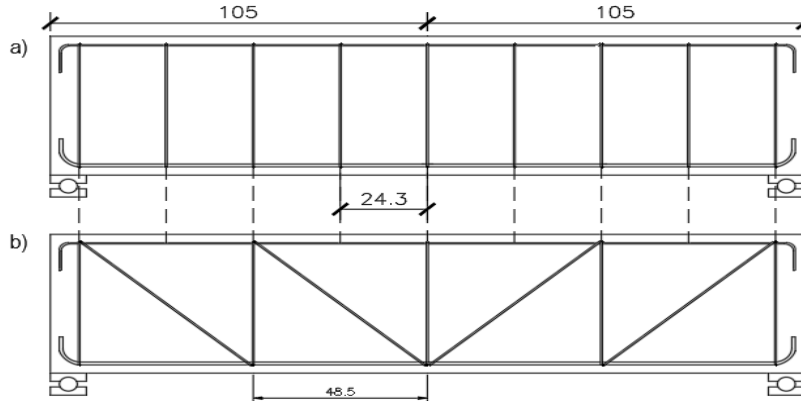


Figura 1. (a) Viga com estribos verticais; (b) Viga com estribos alternados

Materiais e métodos

Foram confeccionadas 18 vigas de concreto armado, divididas em três grupos com alturas de 30 cm, 40 cm e 50 cm respectivamente. Cada grupo tem três vigas de referência utilizando estribos verticais e três vigas com estribos de inclinação alternada de 45° e 90°. Foi adotado 12 cm de largura e 210 cm de comprimento para todas as 18 amostras.

A Tabela 1 demonstra como foram divididos os grupos e suas respectivas nomenclaturas, sendo VR vigas de referência, e o número que segue indica a altura da seção transversal em cm; e VX, as vigas com estribos alternados, também seguidas por número que indica a altura da seção transversal.

Tabela 1: Nomenclatura das vigas utilizadas no experimento

Simbologia por altura do grupo	Tipo
VR30	Vigas com armadura convencional
VR40	
VR50	
VX30	Vigas com estribos alternados
VX40	
VX50	

As fôrmas e armaduras das vigas usadas no experimento foram montadas pela Engenharia Castanhel de Criciúma – SC, e concretadas no IParque. Como porta estribos foram utilizadas 2 barras de aço CA- 60 Ø5,0 mm. Os estribos utilizaram também barras com Ø5,0mm dispostos a cada 12,5 cm para vigas de 30 cm de altura; 16,7 cm nas vigas de 40 cm e 24 cm nas vigas de 50cm. O espaçamento adotado foi determinado atendendo a taxa de armadura mínima, o espaçamento máximo de 0,6d (60% da altura útil da viga) e respeitando as distâncias necessárias para formar os ângulos de 45° e 90° dos estribos. Como armadura de flexão de todas as vigas foram adotadas 2 barras de aço CA-50 Ø12,5 mm com intuito de que o rompimento seja por cisalhamento. O cobrimento da armadura foi de 2,5 cm, recomendado pela NBR 6118:2014 na classe de agressividade ambiental I. O fornecimento de concreto usinado C25 ficou à cargo da Concreteira Polimix de Criciúma – SC. Os detalhamentos das armaduras das vigas estão dispostos, todos as medidas em centímetros, nas Figuras 2, 3 e 4.

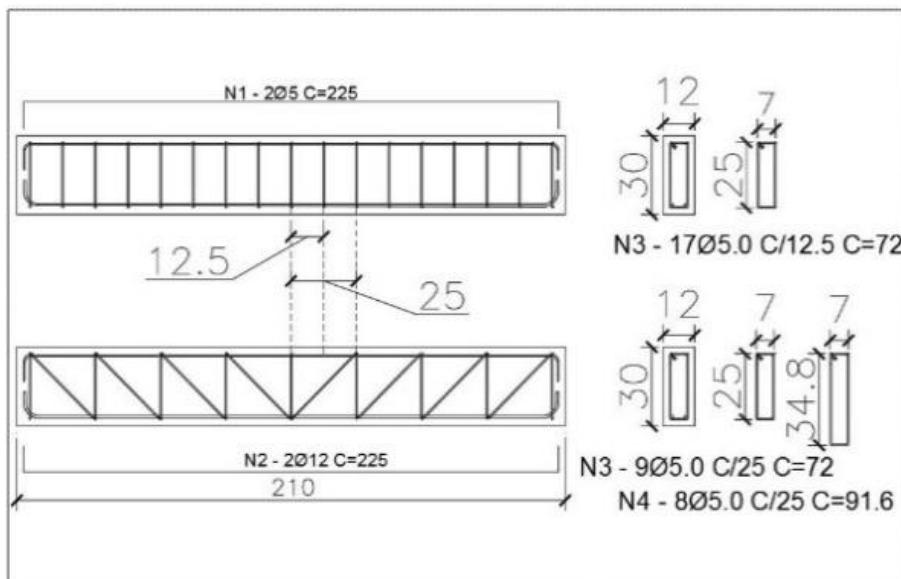


Figura 2: Detalhe armadura das vigas de 30 cm de altura

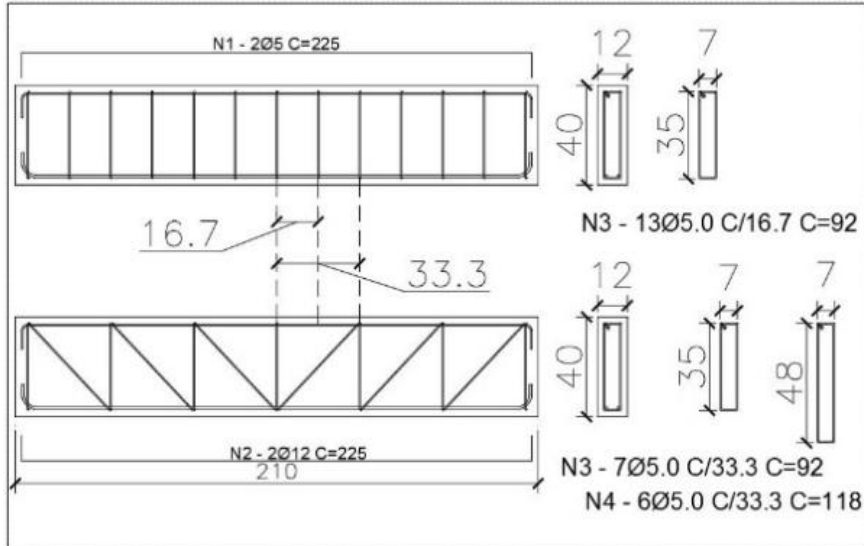


Figura 3: Detalhe armadura das vigas de 40 cm de altura

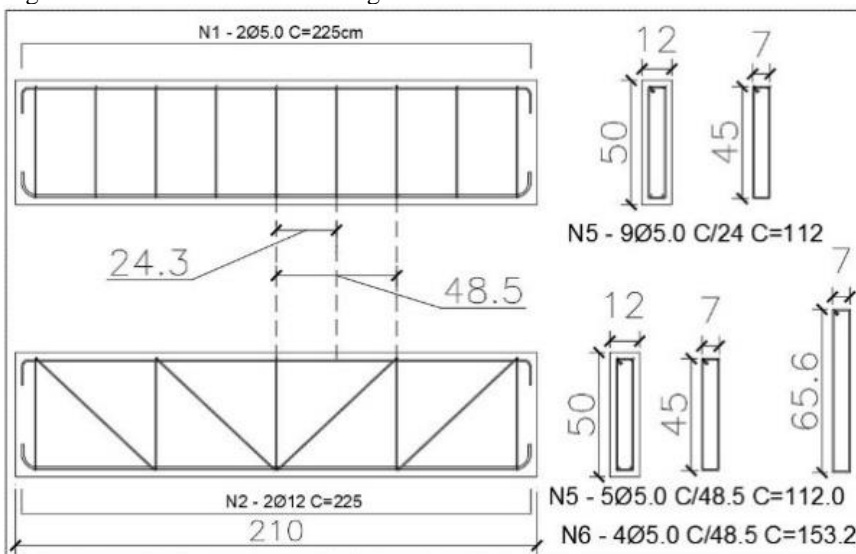


Figura 4: Detalhe armadura das vigas de 50 cm de altura

O concreto utilizado na confecção das vigas foi projetado com abatimento de 10 +/- 2 cm, e para controle do mesmo foi realizado o ensaio de abatimento Slump Test, conforme NBR NM 67:1998, e confeccionados 10 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm x 20 cm, moldados junto com a concretagem das vigas, obedecendo a NBR 5738:2015. Após moldados os corpos de prova, os mesmos foram submersos por 28 dias para posteriormente ensaiar a compressão simples no LMCC – Laboratório de Materiais de Construção Civil, de acordo com a norma para ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos NBR

5739:2007. A cura das vigas se deu por 7 dias consecutivos após a concretagem, uma vez por dia e cobertas com lona o restante do tempo. A figura 5 apresenta a concretagem das 18 vigas e os moldes dos corpos de prova 10x20cm.



Figura 5: (a) Concretagem das vigas; (b) Moldes de corpo de prova

Os ensaios de cisalhamento das vigas foram realizados no LEE – Laboratório Experimental de Estruturas da UNESC, que consistiu em apoiar a viga sobre dois apoios, um em cada extremidade, sendo um de primeiro gênero (rolete) e outro de segundo gênero (fixo), assim para efeito de cálculo o comprimento efetivo da viga ficou em 2,00m. Conforme o grupo de alturas das vigas, aplicou-se uma carga pontual a uma distância em relação a horizontal formada pelo cateto adjacente de um ângulo de 45° que se inicia na face inferior mais interna do apoio e se estende até a face superior da viga. Logo, para as vigas de 30 cm de altura a carga foi posicionada a uma distância de 40 cm da extremidade; nas vigas de 40 cm essa distância ficou em 50 cm e nas vigas de 50 cm em 60 cm. A leitura de dados nos ensaios foi efetuada através do equipamento Quantum X, e para coleta dos dados o software Catman Easy, ambos da marca HBM. As Figuras 6, 7 e 8 representam os esquemas de ensaio de cisalhamento para cada altura das vigas.

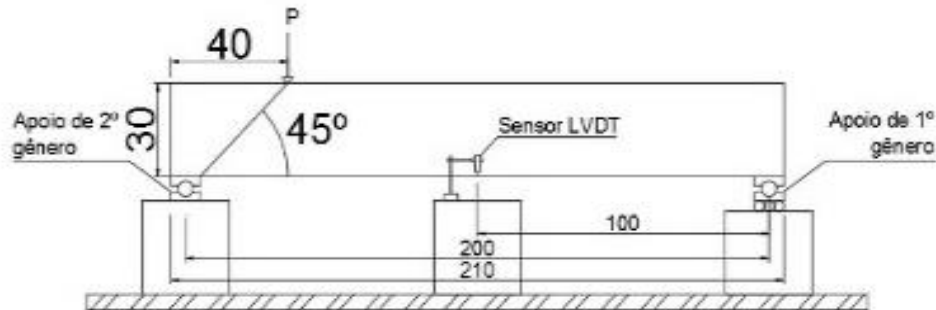


Figura 6: Ensaio de cisalhamento em vigas de 30 cm de altura

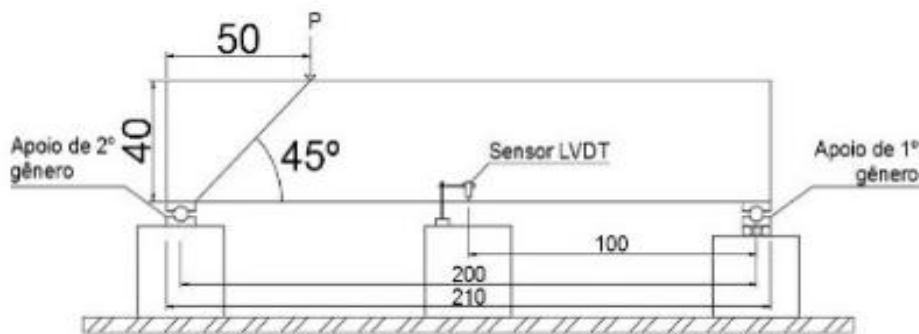


Figura 7: Ensaio de cisalhamento em vigas de 40 cm de altura

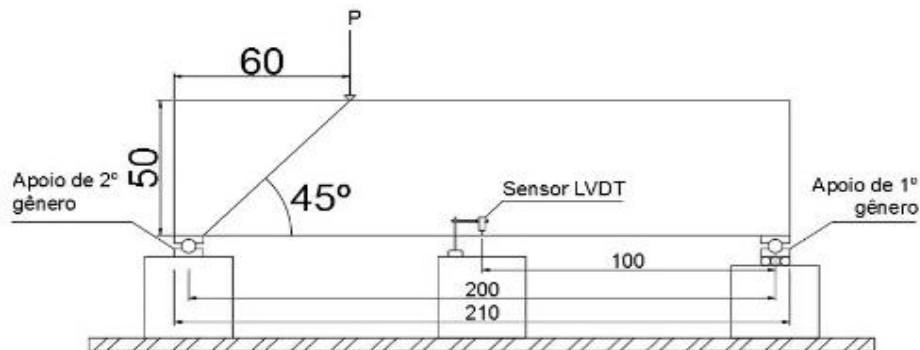


Figura 8: Ensaio de cisalhamento em vigas de 50 cm de altura

Resultados e discussões

Após o período de cura, os corpos de prova foram ensaiados no LMCC do IParque para controle da resistência do concreto. Os resultados atingidos estão na Tabela 2.

Tabela 2: Resistência a compressão

Amostra	Resistência a compressão axial (MPa)
CP1	14,4
CP2	13,4
CP3	16,0
CP4	17,4
CP5	18,1
média	15,87
Desv. Padrão	1,976

A média da resistência a compressão axial foi de 15,87 MPa, valor abaixo dos 25MPa estabelecido, com abatimento de 8 cm no Slump Test. No entanto, por se tratar de um estudo comparativo, seguiu-se a pesquisa.

Na sequência realizou-se os ensaios de cisalhamento nas vigas. A Figura 9 ilustra a viga posicionada para ensaio de cisalhamento, respeitando as distâncias de aplicação de carga para cada altura das vigas.



Figura 9: Ensaio de cisalhamento da viga VX403

Os resultados obtidos a partir dos ensaios são referentes as cargas aplicadas pelo cilindro hidráulico no momento de ruptura das vigas e estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3: Carregamento máximo na ruptura.

Altura	Amostra	VR (kN)	VX (kN)
30	1	113,43	109,21
	2	55,25	73,55
	3	97,63	117,53
	Média	88,77	100,10
	Desv. Padrão	3009	2336
	Relação	1	1,128
40	1	97,23	83,32
	2	82,76	125,22
	3	148,22	74,07
	Média	109,4	94,2
	Desv. Padrão	3439	2726
	Relação	1,161	1
50	1	140,63	107,99
	2	99,57	162,67
	3	135,86	163,78
	Média	125,35	144,81
	Desv. Padrão	2245	3189
	Relação	1	1,155

A Figura 10 apresenta o aspecto de uma das vigas após o ensaio, onde pode-se observar a formação típica de fissuras de cisalhamento, constatado em todas vigas do estudo.



Figura 10: Aspecto de uma das vigas após a realização do ensaio.

Comparando os valores médios das cargas aplicadas nas vigas do grupo com vigas de altura de 30 cm, observa-se um aumento de 12,8% no grupo VX (estribos alternados) em relação ao grupo VR (vigas de referência). Nas vigas de 50cm houve um incremento de aproximadamente 15,5% na carga aplicada no grupo VX em relação ao VR. Os valores médios do grupo de vigas com altura de 40cm por outro lado, obtiverem valores de cargas mais altas no grupo de referência, na ordem de aproximadamente 16,1% em relação ao grupo VX. Também é possível correlacionar as diferenças de carga com as alturas entre cada grupo com estribos à 90°: o grupo VR40 teve aumento de 23,23% em relação ao VR30 e o grupo VR50 teve um incremento de 14,57% em comparação com o grupo VR40. Nos grupos de vigas com estribos alternados o grupo VX40 teve uma redução de 6,26% comparado ao VX30 e o grupo VX50 atingiu em média 53,72% a mais que o grupo VX40. A disparidade das vigas VX40 em comparação com o restante dos grupos se deu possivelmente por falha na concretagem das vigas deste grupo, visto que não segue a tendência de ganho de resistência dos outros dois grupos de estribos alternados em relação a suas vigas de referências. Esta perda de resistência do grupo devido a possível falha de concretagem se justifica pela perda de capacidade das bielas do concreto. A Figura 11 apresenta o gráfico que ilustra os valores médios obtidos em relação aos respectivos grupos analisados.

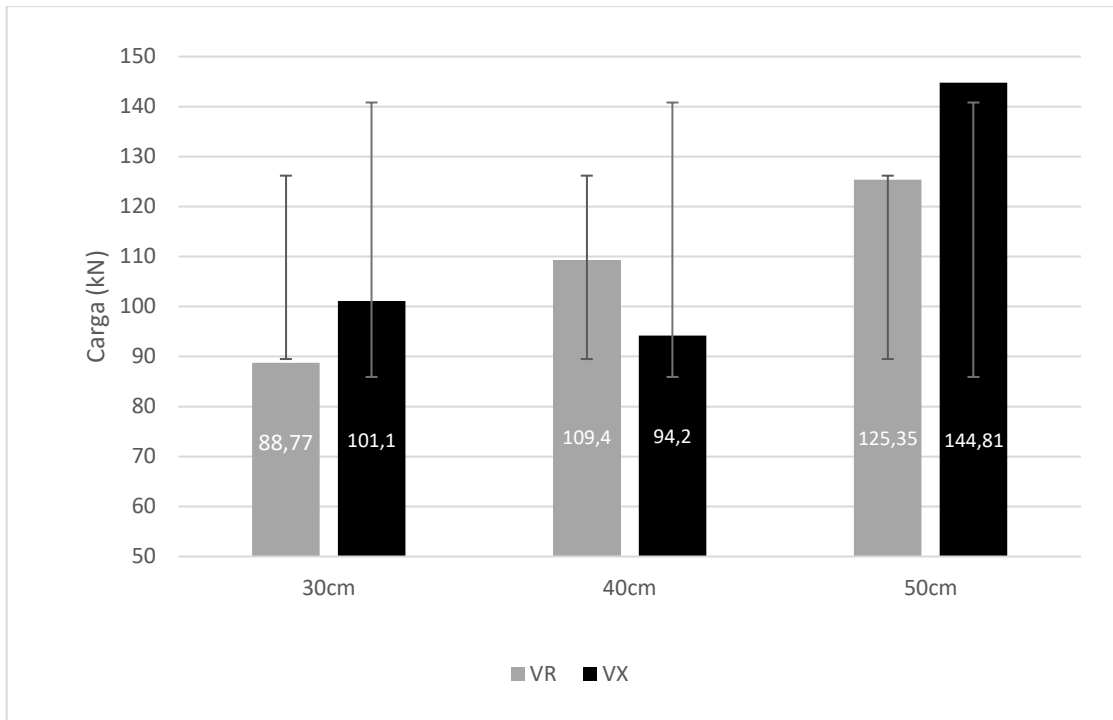


Figure 11: Gráfico de carga média de ruptura por grupo

Análise estatística dos resultados

Para avaliar a significância estatística dos resultados obtidos nos ensaios foi utilizada a análise de variância ANOVA, com confiabilidade de 95% e $\alpha=0,05$. O teste comprovou que nos três grupos os resultados não obtiveram significância entre vigas de referência e vigas com estribos alternados. Estes resultados convergiram com os resultados encontrados por Oliveira (2018), em seu estudo de estribos alternados submetidas a flexão, onde também não obteve significância entre os modelos de estribos. A Tabela 4 descreve os testes por tipo de viga em cada altura.

Tabela 4: Resultados ANOVA de cada grupo

Altura	F		F crítico	Valor de - P
30cm	0,279	<	7,71	0,634
40cm	0,290	<	7,71	0,619
50cm	0,932	<	7,71	0,389

Com objetivo de analisar a interação e influência entre altura e os dois tipos de estribos, se realizou o teste ANOVA de duas vias. Na Tabela 5 é possível observar que não houve interação entre o modelo e a altura e entre modelos não existe diferença significativa. Excluindo os grupos de vigas de 40 cm de altura, para que se elimine os dados com possíveis erros, os resultados comprovaram significância apenas para a altura. A Tabela 6 contém o ANOVA de duas vias apenas com os grupos de 30 cm e 50 cm de altura.

Tabela 5: Resultados ANOVA duas vias

Fonte	F		F crítico	Valor de - P
Altura	3,45	<	3,89	0,066
Modelo	0,15	<	4,75	0,706
Altura*Modelo	0,60	<	3,89	0,563

Tabela 6: Resultados ANOVA duas vias sem grupos de 40 cm de altura

Fonte	F		F crítico	Valor de - P
Altura	6,67	>	5,32	0,032
Modelo	0,96	<	5,32	0,357
Altura*Modelo	0,07	<	5,32	0,803

Conclusão

Considerando os resultados obtidos neste estudo, conclui-se que:

Os três agrupamentos divididos por altura não obtiveram diferença estatisticamente significativa nos resultados quando comparados os grupos de referência com grupos de estribos alternados.

Não houve diferença significativa ao analisar a influência do incremento de altura em relação aos tipos de estribos usados, quando comparados os 3 grupos. Para a análise somente com grupos 30 cm e 50 cm o resultado comprovou a significância para altura.

Observa-se que as vigas de referência aumentaram a capacidade portante na ruptura na razão direta do incremento de altura das vigas, o que ocorreu em apenas 2 dos 3 grupos das vigas de estribos alternados, possivelmente por problemas na concretagem das amostras desse grupo.

Diferente da hipótese inicial de ganho de capacidade portante no cisalhamento, os estribos alternados não surtiram efeito nesse aspecto, mostrando-se estatisticamente iguais aos

estribos tradicionais, com a agravante de imporem maiores dificuldades de execução e maior consumo de aço, convergindo com os resultados obtidos por Oliveira no estudo da flexão.

Os resultados convergiram ao esperado inicialmente com base nos resultados encontrados por Oliveira (2018).

Sugestões para trabalhos futuros

Comparar vigas de referência com vigas de armadura transversal inclinada a 45° por toda a viga, sem alternância, e identificar a influência na resistência de cisalhamento em diferentes alturas.

Refazer o estudo com o uso de armaduras transversais de maiores áreas de aço para avaliar influência nos resultados.

Referencial Bibliográfico

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos-deprova.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** Rio de Janeiro, 2014.

DUARTE, Douglas de Souza. **Estudo comparativo entre os dois métodos propostos pela NBR 6118:2007 para o dimensionamento da armadura de cisalhamento em vigas sujeitas a flexão simples.** Tecnologia e Ambiente, Criciúma, v. 15, p.74-87, 2009.

LEONHARDT, Fritz; MONNIG, Eduard. Construções de concreto. Editora Interciência, 1982

OLIVEIRA, Bruno Borges de. **Análise experimental da influência da alternância na inclinação de estribos na capacidade portante em vigas de concreto armado.** 2018. 12 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2018.

V1.

ZAMRI, Nor Fazlin; MOHAMED, Roslli Noor. The Effects of Inclined Shear Reinforcement in Reinforced Concrete Beam. **Malaysian Journal Of Civil Engineering**, Malásia, v. 30, n. 1, p.86-96, abr. 2018. Mensal. Disponível em: <https://mjce.utm.my/index.php/MJCE/article/download/169/160>>