



ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUENCIA DA ARMADURA DE PELE NO COMBATE AO CISALHAMENTO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Luiz Dari Antunes Junior (1), Alexandre Vargas (2);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) < engluizdari@yahoo.com >, (2) < avargas@unesc.net >

RESUMO

O combate aos esforços de cisalhamento em vigas de concreto armado, se dá através de armadura transversal em forma de estribos e/ou, por barras longitudinais dobradas. Em vigas com altura superior a 60 cm, a NBR 6118:2014 indica a colocação de armadura de pele posicionada longitudinalmente nas duas faces da viga. Observa-se que, as três armaduras mencionadas, transpassam as fissuras típicas de cisalhamento em direção oposta à essa. No entanto, as armaduras de pele não são consideradas no cálculo da armadura de combate à esse esforço. Nesse contexto, esse trabalho tem por objetivo dar continuidade aos estudos de PEREIRA (2016), na avaliação da contribuição da armadura de pele no combate ao cisalhamento. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram moldados quatro grupos de três vigas com as mesmas larguras e duas diferentes alturas de seção transversal. Cada grupo tem três vigas com armadura de pele e as outras três sem. Foi estabelecida uma hipótese de cálculo considerando a armadura de pele como tendo a mesma área de aço dos estribos. Todas as amostras foram submetidas à ensaios de laboratório com carga aplicada no ponto de interseção de uma linha imaginária de 45° da base do apoio até a face superior da viga. Os resultados apresentaram aumento da carga de ruptura para as vigas com armadura de pele e seção transversal de 12x45 cm da ordem de 45,9 %. Para as vigas de seção transversal de 12x60 cm, o incremento foi de 11,2 %.

Palavras-Chave: Armadura de pele. Cisalhamento. Estribos em vigas.

1. INTRODUÇÃO

Em estruturas de concreto armado, com a baixa resistência à tração do concreto, é caracterizado como um fenômeno natural, o aparecimento de fissuras, sendo estas, indesejáveis não só por motivos estéticos, mas também, por afetarem negativamente a durabilidade do elemento estrutural. Nas vigas de concreto armado, em geral, as principais solicitações é o momento fletor e o esforço cortante. RUSCH (1980) explica que em seções retangulares, estas fissuras de flexão, assim que surgem, desencadeiam uma considerável redistribuição de tensões internas com consequências difíceis de calcular e que influenciam a inclinação das fissuras de

cisalhamento, levando à ruptura da peça. Para contrapor o esforço de cisalhamento, o mais usual é a utilização de armadura transversal em forma de estribos e/ou, eventualmente utilizando barras dobradas, que têm o papel de ligar, através da alma, os banzos tracionados e comprimidos, interferindo na propagação das fissuras de cisalhamento. A norma brasileira NBR 6118:2014 admite dois modelos para o cálculo dos estribos, denominados Modelo de cálculo I e Modelo de cálculo II. Apesar de ambos partilharem da mesma analogia de considerarem uma viga em estado de fissuração como uma treliça, têm considerações distintas, nas limitações da inclinação das bielas de compressão. O Modelo I, que adota o modelo da treliça de Morsch, determina diagonais de compressão inclinadas com ângulo fixo de 45° , em relação ao eixo longitudinal da peça, admitindo um valor fixo para a parcela complementar de resistência interna do concreto V_c , que independe da força cortante de cálculo V_{sd} . O Modelo II, por sua vez, utiliza a treliça generalizada de Morsch, e determina uma variação de 30° a 45° para os ângulos das bielas, admitindo uma redução da resistência interna do concreto V_c , com o aumento da força cortante de cálculo V_{sd} . Tendo em vista que a norma NBR 6118:2014, permite uma variação angular da inclinação dos estribos em relação ao eixo longitudinal da peça de 45° a 90° , é significativo salientar que, em grandes vigas, o uso de estribos com inclinação de 45° a 60° limitam com maior eficiência a aberturas de fissuras, diminuindo os esforços nas bielas de compressão e o valor do deslocamento do diagrama de momentos (LEONHARDT e MONNIG, 2008), embora não seja comum essa prática, mas sim a adoção de estribos verticais. Por outro lado, em vigas com altura superior a 60 (sessenta) centímetros são adotadas, por determinação da mesma norma, barras complementares, nas faces laterais da viga, que recebem a denominação de armadura de pele, calculada como 0,10% da área da seção transversal da alma para cada face da viga e dispostas no sentido longitudinal, com espaçamento não superior à 20cm. Segundo ADORNO (1996), as disposições da norma brasileira, e de tantas outras internacionais, apresentam para o dimensionamento ao cisalhamento na flexão apenas três possibilidades de disposição da armadura: armadura transversal constituída apenas por estribos verticais; apenas por estribos inclinados e a atuando simultaneamente. Em nenhum dos casos é considerada a contribuição no combate ao esforço cortante da armadura longitudinal de pele. Considerando que as fissuras de cisalhamento apresentam uma inclinação em torno de 45° , e a armadura de pele está disposta de maneira a “cortar” essas fissuras, surge o interesse em saber, o

quanto é considerável a sua influência no combate ao cisalhamento. De acordo com o estudo proposto por HASSANEAN (2006), o uso de barras laterais, variando o número de camadas ao longo da alma da seção transversal, proporciona um ganho na diminuição do ângulo e da abertura das fissuras de cisalhamento em vigas curtas. Já ADORNO (1996) afirma que há um aumento significativo da capacidade resistente ao cisalhamento na flexão em vigas com armadura de pele para relações de distância de carga apoio/ altura útil (a/d). Nesse contexto, o presente estudo tem como principal objetivo, avaliar experimentalmente, a influência da armadura de pele no combate ao cisalhamento em vigas de concreto armado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

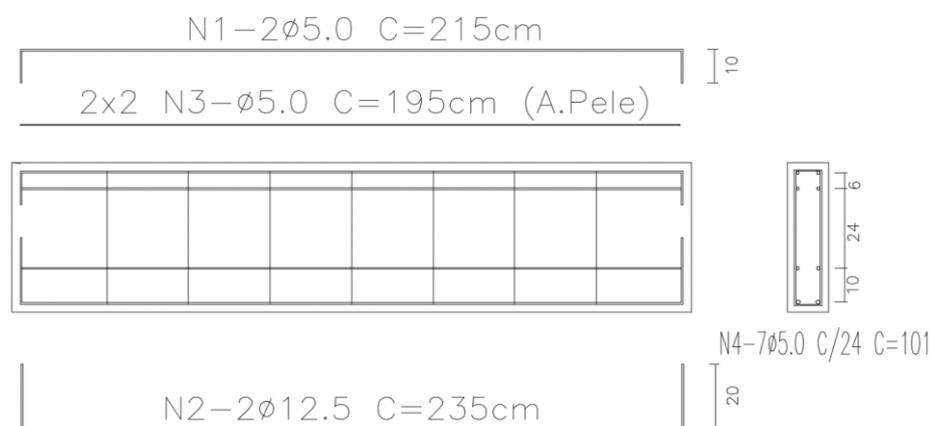
O planejamento experimental desse trabalho, foi definido com a moldagem de 14 (quatorze) vigas de concreto armado, divididas em dois grupos: o grupo **A** é composto por 7 (sete) vigas com seção transversal de 12x45 cm e comprimento 2 m, enquanto que o grupo **B**, foi formatado também com 7 (sete) vigas, porém com seção transversal de 12x60 cm e comprimento 2 m. Cada grupo ficou subdividido com 4 vigas cuja armadura transversal é composta apenas por estribos mínimos e 3 vigas com a mesma armadura, porém com o acréscimo de barras laterais com a mesma área de aço dos estribos. O número ímpar de vigas de cada grupo, se justifica para que, dentre aquelas somente com estribos, fosse realizado um ensaio piloto com o objetivo de avaliar previamente do seu comportamento e ajustar a instrumentação do ensaio. Todas as vigas foram ensaiadas ao cisalhamento no LEE – Laboratório Experimental de Estruturas, e o concreto foi ensaiado à compressão simples utilizando o LMCC - Laboratório de Materiais de Construção Civil, respeitando o estabelecido pela NBR 5739:2007. Os dois laboratórios estão localizados no IParque – Parque Científico e Tecnológico da UNESC.

2.1 DETALHAMENTO E FABRICAÇÃO DAS VIGAS

Para armadura de combate à flexão, foram adotadas 2 ϕ 12.5 mm na região tracionada e 2 ϕ 5.0 mm como porta estribo. O cobrimento adotado foi o estabelecido pela NBR 6118:2014 de 2,5 cm, considerando grau de agressividade I. Para a armadura de combate ao cisalhamento, foi estabelecido o diâmetro de 5.0 mm, para estribos de dois ramos verticais, por ser o menor diâmetro especificado pela NBR 6118:2014 e o espaçamento entre estribos utilizou-se, para as vigas com seção de 12x45cm, o critério de espaçamento máximo da NBR 6118:2014, quando $V_{sd} \leq 0,67 V_{Rd2}$. Já para as vigas de 12x60cm, o espaçamento calculado foi em função da taxa de armadura mínima também previsto pela NBR 6118:2014, sendo que esse grupo de vigas teria um espaçamento maior se utilizasse o critério de espaçamento máximo, não atendendo a taxa mínima de armadura. Assim, os espaçamentos entre estribos ficam definidos: para as vigas com seção transversal 12x45, adotou-se \emptyset 5.0 mm cada 24 cm; e para as vigas com seção 12X60, \emptyset 5.0 mm cada 28 cm.

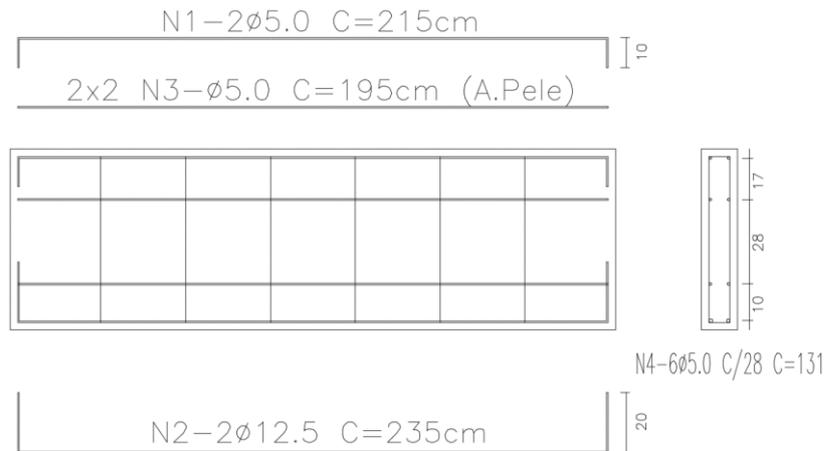
O critério para a inserção das barras laterais, foi o de utilizar a mesma área de aço utilizada nos estribos, dispostas ao longo de toda a viga. Assim, foram adicionas 2 barras de 5.0 mm em cada face, para os dois grupos de vigas. As Figuras 1 e 2 apresentam o detalhamento das armaduras das vigas com armadura de pele. As vigas de referência têm a mesma armadura exceto a de pele.

Figura 1: Detalhamento da armadura nas vigas 12x45 cm.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 2: Detalhamento da armadura nas vigas 12x60 cm.



Fonte: Autor, 2017.

O concreto utilizado para a confecção das vigas, foi do tipo C40 usinado. Para o controle da resistência, foram moldados oito corpos de prova cilíndricos ($\varnothing 10 \times 20$ cm), que posteriormente foram ensaiados à compressão axial no LMCC - Laboratório de Materiais de Construção Civil da UNESC, localizado no IParque. Para garantir o cobrimento da armadura foram utilizados espaçadores plásticos. A Figura 3 mostra detalhes da fabricação das vigas.

Figura 3: Detalhe da fabricação das vigas.



Fonte: Autor, 2017

2.2 CALCULO TEÓRICO DO ESFORÇO CORTANTE DE SERVIÇO RESISTENTE

Com o espaçamento e o diâmetro dos estribos definidos, calculou-se então, utilizando o Modelo de cálculo I a força cortante resistente máxima. Para que os resultados teóricos fossem os mais próximos dos valores experimentais, não se utilizou os coeficientes de ponderação nas diversas equações, não sendo assim, majorada a carga aplicada em V_{sk} , nem minorada a resistências do concreto e do aço.

A Tabela 1 apresenta os resultados teóricos dos valores da força cortante utilizando o Modelo de Cálculo I, sem considerar a atuação da armadura de pele. A posição de aplicação da carga pode ser observada na Figura 4. Observa-se que os valores de V_{sd} (cálculo) e V_{sk} (serviço) são iguais por não haver coeficientes de ponderação.

Tabela 1: Cálculo da força cortante resistente pelo **Modelo de Cálculo I**.

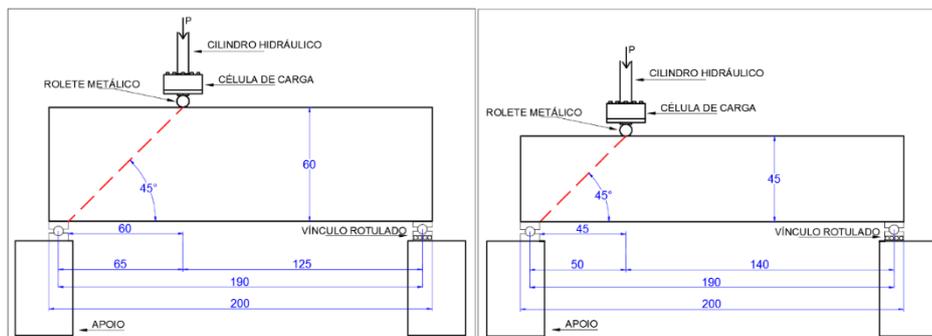
$\theta = 45^\circ$							
Seção	\varnothing (mm)	s (cm)	V_{sw} (kN)	V_c (kN)	V_{sd} (kN)	V_{sk} (kN)	Força Aplicada (kN)
12x45	5	24	31,03	76,78	107,81	107,81	144,58
12x60	5	28	36,24	104,62	140,86	140,86	211,51

Fonte: Autor, 2017.

2.3 METODOLOGIA DE ENSAIO NAS VIGAS

Para avaliação do combate ao cisalhamento, todas as amostras foram submetidas à ensaio de cisalhamento no Laboratório Experimental de Estruturas – LEE da UNESC, seguindo o procedimento a seguir descrito: aplicação de uma carga pontual, utilizando o cilindro hidráulico, a uma distância calculada considerando um ângulo de 45° a partir da face do apoio. O cilindro hidráulico tem capacidade de 500 kN, sendo que os valores de carga foram obtidos através da célula de carga instalada na base do cilindro. Para a medição dos valores da carga aplicada ao longo do ensaio, foi utilizado o sistema de aquisição de dados Quantum X[®] que utiliza o *software* Catman Easy[®], ambos da marca HBM[®]. A Figura 4 mostra o esquema adotado no ensaio e o detalhamento do equipamento utilizado.

Figura 4: Esquema e equipamentos utilizados no ensaio das vigas



Fonte: Autor, 2017

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO

O ensaio de compressão axial foi realizado 28 dias após a concretagem dos corpos de prova (CP). Durante este período os CP permaneceram submersos, no LMCC - Laboratório de Materiais de Construção Civil da UNESC, para atender as condições previstas na norma brasileira NBR 5738:2015. Os valores obtidos através do ensaio estão apresentados na Tabela 2, onde é possível observar que a resistência à compressão confirmou o valor previamente estabelecido.

Tabela 2: Resistência à compressão

Corpos de prova	Resistencia à compressão (Mpa)
CP1	33,7
CP2	43,4
CP3	41,4
CP4	43,5
CP5	42,4
CP6	43,1
CP7	42,4
CP8	43,6
Média	41,7
Desvio padrão	3,30

Fonte: Do Autor, 2017

3.2 ENSAIO DE CISALHAMENTO NAS VIGAS

A partir dos ensaios das vigas, os resultados referentes às cargas, no momento da ruptura, foram compilados na Tabela 3. Estes valores correspondem à carga aplicada diretamente pelo cilindro hidráulico. Comparando os valores médios das cargas dos dois grupos de vigas com seção transversal de 12x60 cm, observa-se um incremento de carga em torno de 11,2 %, no grupo onde foram adicionadas armaduras de pele. Já no grupo de vigas com seção transversal de 12x45 cm, o incremento de carga atingiu valor em torno de 45,9 %.

Nos resultados que compõem a tabela, não foram considerados os valores obtidos nos ensaios piloto, uma vez que esses, tinham a função de ajustar os equipamentos para os ensaios finais.

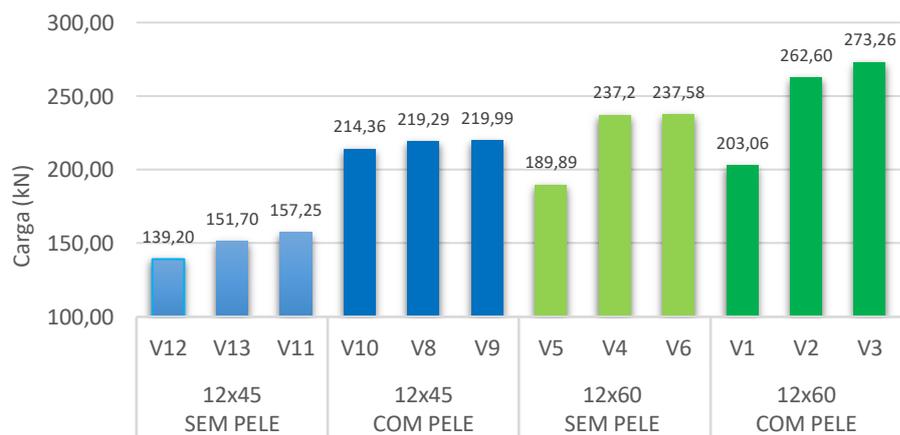
Tabela 3: Resultados obtidos nos ensaios de cisalhamento

		VIGA	CARGA (KN)		
12x60	SEM PELE	V4	237,20		
		V5	189,89		
		V6	237,58		
			média	221,56	(1,000)
	COM PELE	V1	203,06		
		V2	262,60		
V3		273,26			
		média	246,31	(1,112)	
12x45	SEM PELE	V11	157,25		
		V12	139,20		
		V13	151,70		
			média	149,38	(1,000)
	COM PELE	V8	219,29		
		V9	219,99		
V10		214,36			
		média	217,88	(1,459)	

Fonte: Do Autor, 2017.

A Figura 5 apresenta o gráfico ilustrando os ensaios realizados para os grupos de vigas com seção transversal, respectivamente de 12x45 cm e 12x60 cm

Figura 5: Gráfico de carga aplicada



Fonte: Do Autor, 2017.

Observa-se que os valores experimentais médios superaram os valores teóricos em 3,3 % para as seções de 12x45 e 4,7 % para as seções de 12x60.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Com o objetivo de avaliar a significância dos valores obtidos nos ensaios, foi realizada uma análise estatística, utilizando a ANOVA para cada situação conforme demonstradas na Tabela 4. Na análise para as vigas de seção transversal 12x60cm sem e com armadura de pele, no momento da ruptura, pode-se observar que a diferença das médias, de aproximadamente 11,2%, não é significativa. Já na análise para as vigas de seção transversal 12x45cm sem e com armadura de pele, no momento da ruptura, observa-se que a diferença das médias de aproximadamente 45,9% é estatisticamente, significativa.

Tabela 4: Resultados da análise estatística

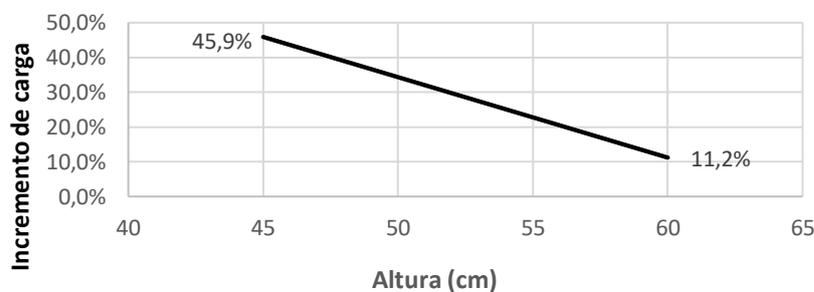
	ANOVA				
	Fcalculado		Fcrítico		p
12x45	148,3318782	>	7,708647422	0,000260862	✓
12x60	0,84172724	<	7,708647422	0,410815969	✗

Fonte: Do Autor, 2017.

3.4 TENDÊNCIA DOS RESULTADOS

A partir da análise dos resultados, verificou-se uma tendência na relação altura x incremento de carga, em que, quanto maior a altura menor o incremento de carga conforme o gráfico da Figura 6.

Figura 6: Gráfico de tendência

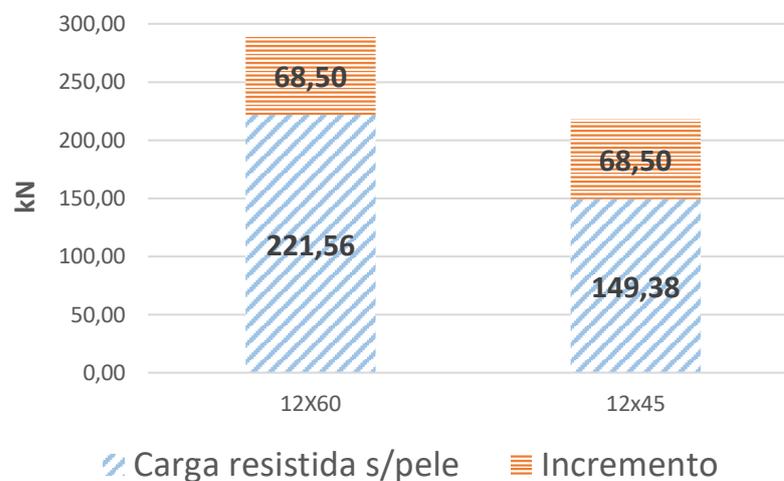


Fonte: Do Autor, 2017.

Essa tendência se deve principalmente à altura da viga, pois a parcela de esforço cortante resistida pelo concreto (V_c) é proporcional à altura. Mesmo que ambas

seções de vigas tivessem o mesmo incremento de carga na parcela resistida pelo aço da armadura de pele, esse incremento em porcentagem seria de menor significância nas vigas com maior altura, que possuem maior V_c . Para melhor visualizar, na Figura 7 são apresentados as médias dos valores de cargas resistidas pelas duas seções de vigas e um incremento fictício de igual valor para essas duas médias. Essa tendência deve ser confirmada com um maior número de amostras.

Figura 7: Incremento de carga fictício



Fonte: Do Autor, 2017.

4. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados, para o número de amostras ensaiadas e para as limitações dessa pesquisa conclui-se que:

- Para as vigas com seção transversal de 12x60 cm, a presença da armadura de pele não apresentou diferença significativa nas médias dos resultados de carga de cisalhamento na ruptura, chegando a um incremento de carga na ordem de 11,2 %.
- Nas vigas com seção de 12x45 cm, o acréscimo de carga na ruptura por cisalhamento, apresentou resultado médio significativo, chegando a valores em torno de 45,9 % de acréscimo de carga nas vigas com armadura de pele.

- O incremento de carga, nas vigas de maior altura, é menos significativo devido a parcela resistida pelo concreto ser maior que em vigas de menor altura.

5. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se repetir esse trabalho com vigas com outras seções transversais, objetivando avaliar a real influência da armadura de pele no combate ao cisalhamento.

6. REFERÊNCIAS

ADORNO, Ana Lucia Carrijo. **Contribuição de armadura de pele na resistência ao cisalhamento na flexão em viga de concreto armado**. Brasília, 1996.

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

_____. **NBR 5738: Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2015.

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

DE ARAUJO, Jose Milton. **Curso de Concreto Armado**. Editora DUNAS, 2014 V2.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Estruturas de Concreto**. Editora Afiliada, 1981.

HASSANEAN, Yehia A. **Shear response of large r. c. beams provided with side bars under repeated loading**. Faculty of Engineering, Assiut University, Assiut, Egypt, 2006.

LEONHARDT, Fritz; MONNIG, Eduard. **Construções de concreto**. Editora Interciência, 1982 V1.

PEREIRA, Janilson. **Análise experimental da influência da armadura de pele no combate ao cisalhamento em vigas de concreto armado**. 2016. 16 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

RUSCH, Hubert. **Concreto Armado e Protendido: Propriedades dos Materiais e dimensionamento**. Editora Campús, 1980.