



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

BEATRIZ BARBOZA DE SOUZA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À FORÇA CORTANTE DE CONSOLOS EM
CONCRETO COM FIBRAS DE AÇO EM UMA BASE DE DADOS**

PAU DOS FERROS – RN

2022

BEATRIZ BARBOZA DE SOUZA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À FORÇA CORTANTE DE CONSOLOS EM
CONCRETO COM FIBRAS DE AÇO EM UMA BASE DE DADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado, a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido - UFERSA,
Campus Pau dos Ferros, como
requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Matheus
Fernandes de Araújo Silva.

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B725a Barboza de Souza, Beatriz.
ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À FORÇA CORTANTE DE
CONSOLOS EM CONCRETO COM FIBRAS DE AÇO EM UMA
BASE DE DADOS / Beatriz Barboza de Souza. - 2022.
25 f. : il.

Orientador: Matheus Fernandes de Araújo
Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2022.

1. Concreto. 2. Fibras de aço. 3. Cisalhamento.
4. Consolo. I. Fernandes de Araújo Silva, Matheus
, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

BEATRIZ BARBOZA DE SOUZA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À FORÇA CORTANTE DE CONSOLOS EM
CONCRETO COM FIBRAS DE AÇO EM UMA BASE DE DADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
Rural do Semiárido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: 14 / 06 / 2022 .

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Matheus Fernandes de Araújo Silva (UFERSA)

JOSE HENRIQUE MACIEL DE
QUEIROZ:11173528466

Assinado de forma digital por JOSE HENRIQUE
MACIEL DE QUEIROZ:11173528466
Dados: 2022.06.23 23:11:21 -03'00'

Prof. Esp. José Henrique Maciel de Queiroz



Date: 2022.06.23
14:40:03 -03'00'

Prof. Dr. Paulo Henrique Araújo Bezerra (UFERSA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida, por me amar tanto e por se mostrar presente em todos os momentos. Obrigado pai por sua proteção, sem ti não teria conseguido.

Agradeço a minha família, aos meus pais, Antonia Barboza da Silva e Antonio Gilberto Vicente de Souza, aos meus irmãos, Erick Barboza de Souza e Eduardo Barboza de Souza. Em especial queria agradecer a minha mãe, Antonia Barboza da Silva, que nunca mediu esforços para a concretização desse sonho, por todo amor, compreensão e por todo o incentivo quando pensei em desistir, essa conquista é todo dedicada a você.

A meu orientador Dr. Matheus Fernandes de Araújo Silva, pelos ensinamentos, contribuições, incentivo e por toda a paciência não só nesse trabalho, mas em todas as etapas da graduação, o meu muito obrigada.

A todos meus professores da graduação pelo incentivo, paciência, inspiração e orientação.

Aos meus amigos que me acompanharam nessa jornada, por todos os momentos de descontração, incentivo, puxão de orelha e as companhias nas viradas de noites. Não podia deixar de citar o meu amigo, Lucas Ruan que nesses últimos anos se mostrou tão presente e especial, o meu muito obrigada por tudo, por cada palavra, por cada sorriso, por ser mais que um amigo, um irmão.

Não podia deixar de agradecer aos meus amigos Tailton Telles, Natalia Diniz, Dimona Laquis, Emsom, Aristides, Matheus Jardell, Romulo Sobreira, Cláudio, Gabryel Barros, Leonilson Queiroz, Guto, Gustavo, Jessyca e todos os outros que contribuíram de alguma forma para a concretização desse sonho, vocês foram peças fundamentais nesses anos de graduação. Também agradeço aos meus amigos do Iguatu que mesmo longes se mantiveram presente, preocupados e de alguma forma contribuíram para meu crescimento profissional, em especial Iasmym Araújo, Yasnaia Tainá, Sinalda Araújo, Diana Braga, Jany, Natália, Idaiane, Anderson Nascimento, Juliana Castelo Branco, Paulo, Willame Oliveira, Eudênia Rodrigues, Emanuel, Jaiane, Tauana e João Paulo.

RESUMO

Um dos elementos mais utilizados para ligação é os consolos que são elementos que funcionam em balanço, como apoio de outros elementos. A principal função do consolo é a transferência de carga de um elemento para o outro, um exemplo, é a utilização de consolos para a ligação viga-pilar. Devido a limitação de dimensão das peças e a grande quantidade de armadura, surge a ideia da utilização de fibras de aço como armadura secundária, para atuar nas tensões de cisalhamento, melhorar o desempenho da peça e diminuir as aberturas das fissuras. O presente trabalho fez uma análise paramétrica de um modelo analítico com base em um modelo experimental retirado da literatura. Em paralelo foi realizado uma análise da previsão da equação desenvolvida no modelo analítico escolhido. Os resultados mostram que as fibras de aço atuam principalmente após o aparecimento de fissuras na peça, agindo como uma ponte de tensão, consequentemente diminuindo a abertura das fissuras.

Palavra-chave: Concreto. Fibras de Aço. Cisalhamento. Consolo.

ABSTRACT

One of the most used elements for connection is the corbels that are elements that work in balance, as support of other elements. The main function of the corbel is the transfer of load from one element to the other, an example is the use of corbels for the beam-column connection. Due to the limited dimensions of the pieces and the large amount of reinforcement, the idea of using steel fibers as secondary reinforcement arises, to act on the shear stresses, improve the performance of the part and reduce the openings of the cracks. The present work carried out a parametric analysis of an analytical model based on an experimental model taken from the literature. In parallel, an analysis of the prediction of the equation developed in the chosen analytical model was performed. The results show that the steel fibers act mainly after the appearance of cracks in the part, acting as a tension bridge, consequently decreasing the crack opening.

Keyword: Concrete. Steel Fibers. shear. solace.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	10
3	REVISÃO TEÓRICA	11
3.1	CONSOLO	11
3.2	CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS	12
3.3	PROPRIEDADES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO ..	13
3.3.1	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	13
3.3.2	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	13
3.3.3	RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO	14
4	METODOLOGIA	15
4.1	MODELO ANALÍTICO	15
4.2	MODELOS EXPERIMENTAIS	16
4.2.1	Fattuhi (1990a)	16
4.2.2	Fattuhi (1990b)	17
4.2.3	Fattuhi (1994)	17
5	RESULTADOS E DISCURSÃO	18
5.1	ANÁLISE PARAMÉTRICA	18
6	CONCLUSÕES	23
7	REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos os elementos pré-moldados têm ganhado espaço na construção civil, principalmente devido à agilidade e rapidez de execução. Vale ressaltar que essas peças apresentam um maior controle de qualidade, quando comparadas às estruturas moldadas in loco, conseqüentemente uma maior durabilidade (OLIVEIRA,2012).

Normalmente as etapas de produção de estruturas pré-moldadas consistem em moldar os elementos estruturais, realizar o transporte até à obra e por fim, realizar a montagem e ligações das peças. Um dos elementos mais utilizados para ligações, como a ligação viga-pilar são os consolos, que podem ser pré-moldados ou moldados in loco. São elementos que funcionam em balanço, como apoio de outros elementos. Devido a sua dimensão seu comportamento estrutural não pode ser estudado pela teoria clássica da flexão (COSTA,2009). Segundo a NBR 6118/2014, “São considerados consolos os elementos em balanço nos quais a distância (a) da carga aplicada à face do apoio é menor ou igual à altura útil (d) do consolo.”

Para um melhor desempenho do concreto pode reforçá-lo com fibras de aço para melhorar a distribuição das fissuras e limitar a aberturas destas no Estado Limite de Serviço. As fibras de aço provocam alterações nas propriedades do concreto tanto no estado fresco, dificultando a mistura sendo necessário a utilização de aditivos superplastificantes, como no estado endurecido, fornecendo resistência residual ao compósito. As fibras funcionam como uma ponte, transferindo a tensão e assim reduzindo a concentração de tensão nas extremidades das fissuras (LEITE e CASTRO,2020).

Os consolos são elementos de ligação, que funcionam como elemento em balanço, porém o seu comportamento estrutural é tratado diferente do comportamentos das vigas, devido às dimensões curtas não podendo ser aplicado a teoria clássica da flexão. As suas dimensões também dificultam a produção devido a grande quantidade de armadura (CAMPOS,2010).

Tendo em vista, a dificuldade de produção dos consolos, devido uma grande quantidade de armadura em um espaço relativamente pequeno, e as vantagens da adição de fibras de aço no concreto como forma de melhorar o desempenho e

resistência das peças, esse trabalho propõe analisar a resistência dos consolos com adição de fibras de aço.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal, analisar a resistência à força cortante de consolos em concreto com adição de fibras de aço, fazendo uma comparação de um modelo analítico com uma base de dados experimentais de modelos encontrados na literatura.

Como objetivos específicos tem-se:

- Avaliar a influência da adição de fibras de aço na resistência ao cisalhamento de consolos;
- Fazer análise paramétrica das principais variáveis que influenciam a resistência ao cisalhamento dos consolos reforçado com fibras de aço;
- Avaliar um modelo experimental presentes na literatura;
- Comparar os valores obtidos no modelo analítico com os dados da base de dados.

3 REVISÃO TEÓRICA

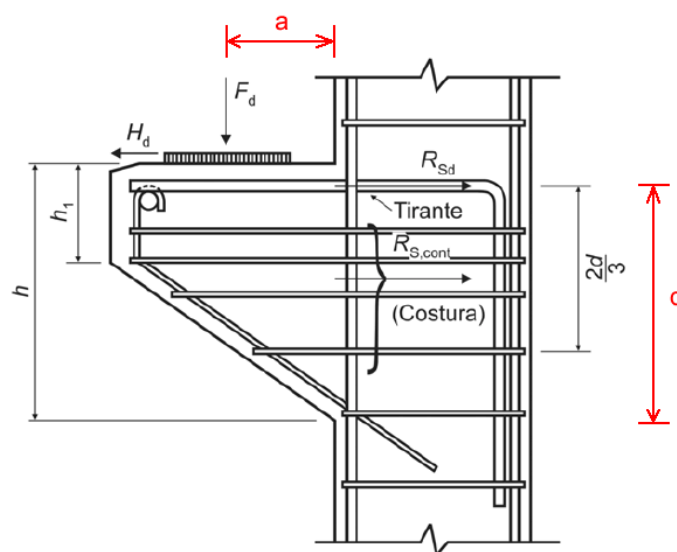
3.1 CONSOLO

Os consolos são elementos muito utilizados para a ligação entre viga e pilar, de forma que apoie a viga e transmita a carga atuante na mesma, para o pilar. Porém, deve se ter bastante cuidado no dimensionamento e disposição das armaduras desses elementos (DAMASCENO; CATOIA; FERREIRA,2018).

Segundo Pfeifer (2017), os consolos são elementos estruturais que tem a função de transferir esforço de um elemento para outro, como é o caso da ligação viga-pilar. O seu dimensionamento pode ser realizado através de métodos racionais, como o Método das Bielas e Tirantes, que propõe uma estrutura em forma de treliça, resistente e capaz de representar a estrutura real.

Segundo a ABNT NBR6118:2014, os consolos são elementos em balanço, onde a distância (a) da carga aplicada à face do apoio é menor ou igual à altura útil (d) do consolo (ver Figura 1). Vale ressaltar que se a condição $a > d$ ocorrer, deve se tratar como viga em balanço. Em questão da classificação a NBR 6118:2014, relata que se $0,5d \leq a \leq d$ trata-se de um consolo curto, e se $a < 0,5d$ trata-se de um consolo muito curto.

Figura 1: Modelo de consolo



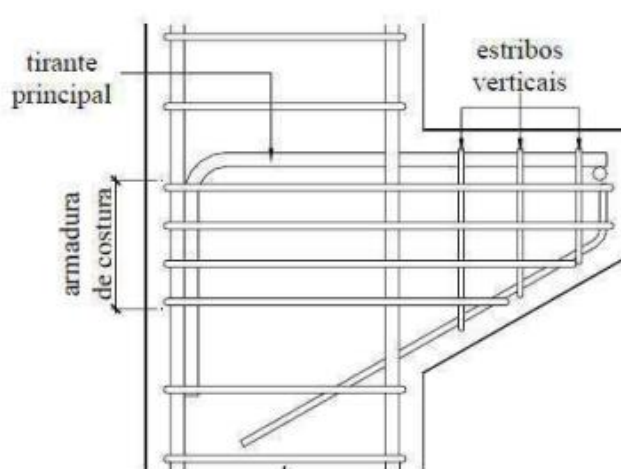
Fonte: PEREIRA (2013).

Os consolos são dimensionados de forma específica, de forma que a teoria da flexão não pode ser aplicada, tendo em vista que não se pode desprezar as tensões

cisalhantes, pois as seções planas após o carregamento não permanecem planas (BARBOZA,2018).

A figura 1 representa as armaduras típicas de consolos de concreto. Além do tirante principal os consolos podem ser compostos por estribos verticais e horizontais. Segundo Barboza (2018), os estribos verticais não têm função de transmitir esforços, são apenas elementos construtivos, porém os estribos horizontais, aumentam a capacidade de resistência das bielas de compressão.

Figura 2: Armadura típica de consolos



Fonte: BARBOZA (2018).

3.2 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

O concreto convencional é o material mais utilizado na construção civil, isso devido ao custo ser relativo baixo e a facilidade de produção. Porém, o concreto também apresenta algumas dificuldades como difícil execução em peças esbeltas com elevada taxa de armadura, apresenta baixa ductilidade, retração plástica e permeabilidade em ambientes úmidos. Assim, na tentativa de eliminar essas dificuldades surge os concretos especiais, que pode ser os concretos leves, de alto desempenho, autoadensável, massa, pesado, rolado, com retração compensada, com polímeros, fibras, dentre outros (NASCIMENTO,2015).

Uma das limitações dos concretos convencionais é a baixa resistência a tração, em torno de 7 a 10% da resistência à compressão, o concreto reforçado com fibras (CRF) pode ser utilizado para melhorar o desempenho à tração. O concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) é composto por dois materiais, o concreto e as fibras de aço,

de forma que a combinação das características dos seus componentes melhore o desempenho estrutural (NASCIMENTO,2015).

Com a introdução das fibras de aço ao concreto convencional se tem um aumento na resistência ao cisalhamento, o material passa a apresentar um comportamento pseudodúctil, ou seja, apresenta uma resistência residual aos esforços mesmo após fissurar (VITOR; SANTOS; TRAUTWEIN, 2018).

3.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO

3.3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

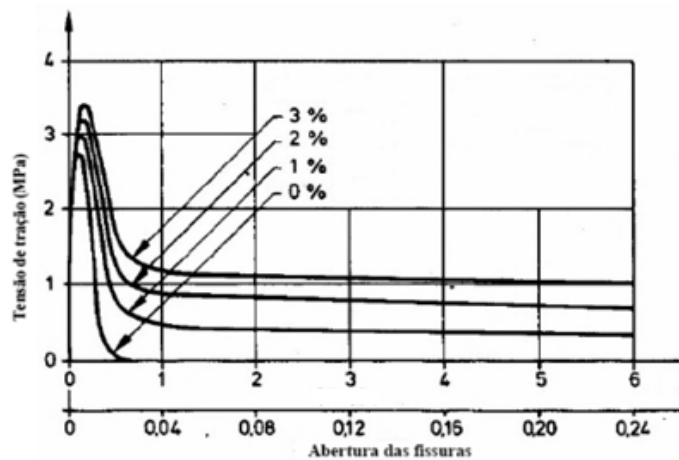
Segundo Rossi (2018) a adição de fibras de aço não colabora significativamente para a resistência à compressão, mas melhora à resistência ao cisalhamento e à flexão. Por outro lado, a ACI 544.1R(2004, *apud* FERREIRA,2017) relata o ganho de 15% da resistência à compressão para uma adição de 1,5% de fibras de aço. Outros trabalhos como o de Lima (2012, *apud* Rossi,2018) relatam uma diminuição na resistência a compressão do concreto reforçado com fibras quando comparado ao concreto convencional. Assim, nota-se bastante controverso ao avaliar esse parâmetro.

Entretanto, o principal objetivo ao se adicionar fibras de aço é que as mesmas atuem como uma ponte de transferência de tensões pelas fissuras provocando um ganho quanto à tenacidade, ou seja, ocorre um aumento no consumo energético após a fissuração do material (ROSSI,2018).

3.3.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Segundo Ferreira (2017) o ganho de resistência à tração pode ser de 30% a 40% para uma adição de 1,5% de fibras de aço, considerável um ganho de resistência significativo. Apesar dessa contribuição o principal objetivo da adição das fibras de aço é a contribuição na região pós-pico do diagrama tração-deformação, decorrente da resistência residual e do aumento de energia de deformação, como pode ser notado na Figura 2. Outro fator, que contribuir para o aumento da resistência é o percentual de fibras de aço e a relação entre comprimento e diâmetro das fibras.

Figura 3: Diagrama tensão de tração-deformação



Fonte: Adaptado de Ferreira (2017).

3.3.3 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

As fibras de aço são distribuídas aleatoriamente na matriz do concreto, formando um reforço tridimensional, portanto, melhorando o desempenho do concreto. As fibras de aço aumentam a resistência no início da fissuração, a resistência última do concreto, aumenta a tenacidade e diminui as deformações devido ao cisalhamento. A ruptura por cisalhamento é caracterizada pelas fissuras inclinadas no plano de interface entre o consolo e o pilar, que provoca o escorregamento do consolo (RODRIGUES, 2017).

Segundo Kurtoglu *et al.*(2017) as fibras de aço podem ser consideradas como armaduras que são espalhadas por toda profundidade do consolo, assim proporcionando um aumento na resistência ao cisalhamento, esse aumento depende das propriedades do concreto, propriedades das fibras, teor de fibras, proporção e forma das fibras.

4 METODOLOGIA

Para a realização do presente trabalho inicialmente empregou-se a metodologia de uma pesquisa bibliográfica, conforme Gil (2017, p. 28) “pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente”.

A pesquisa bibliográfica foi realizada através de dissertações, teses, artigos, com a finalidade de fornecer embasamento a respeito do tema e um melhor entendimento do comportamento estrutural dos consolos e como a adição de fibras de aço interfere na resistência ao cisalhamento. Dentro desta revisão foi feita uma busca por um modelo analítico que estude a resistência ao cisalhamento dos consolos reforçado com fibras de aço.

Após a etapa de pesquisa foi realizada uma coleta e análise dos resultados experimental dos autores citados no banco de dados do modelo analítico, a partir dessa análise foi realizado uma análise paramétrica envolvendo a taxa de armadura, resistência à compressão do concreto, volume de fibra de aço, resistência à tração do concreto reforçado com fibras de aço, e a relação vão- profundidade. Além disso, foi realizado uma da equação 1, assim os resultados obtidos pelos autores, Kurtoglu *et al.* (2017), do modelo analítico e os resultados obtidos experimentalmente foram são agrupados em torno de uma linha de 45°, afim de analisar o desempenho do modelo proposto.

4.1 MODELO ANALÍTICO

Após uma ampla pesquisa se escolheu o modelo do Kurtoglu *et al.* (2017), como modelo analítico para dar embasamento a presente pesquisa. Kurtoglu *et al.* (2017) propuseram um modelo para cálculo da resistência ao cisalhamento de consolos de concreto reforçado com fibras. Os autores empregaram 126 resultados experimentais obtidos na literatura. A estrutura do modelo consiste em fornecer 7 parâmetros de entrada, parâmetros esses que são: Resistência ao escoamento da armadura principal (f_y), Resistência à compressão do concreto(f_c), Resistência à tração do concreto reforçado com fibras (f_t), relação vão-profundidade (a/d), Resistência à tração da fibra (f_f), volume de fibras (v_f), taxa de armadura (ρ) e como parâmetro de saída se tem a Resistência ao cisalhamento experimental ($V_{\text{útil}}$).

Na Equação 1 tem o modelo proposto, onde o coeficiente c depende do tipo de fibra, no caso com a se trata de fibras de aço c será igual a 1, também foi adotado os seguintes valores para $k_1=10,07$, $k_2=20,6$, $k_3=0,541$, $k_4=0,40$, $k_5=0,22$, $k_6=3,27$, $k_7=0,0338$ e $k_8=0,807$. (KURTOGLU *et al.* 2017)

$$V_{util} = c * (k_1 + \frac{k_2 * \rho^{k_3} * f_f^{k_4} * f_c^{k_5} * (e^{v_f})^{k_6} * \ln(f_t)}{f_y^{k_7} * (\frac{a}{d})^{k_8}}) \quad \text{Equação 1}$$

Os autores concluíram que a relação vão-profundidade (a/d) exerce um efeito inversamente na resistência ao cisalhamento, ou seja, ao se aumentar esse essa relação se tem uma diminuição na resistência. Sendo considerado o principal parâmetro para o desempenho do concreto reforçado com fibras (KURTOGLU *et al.* 2017).

4.2 MODELOS EXPERIMENTAIS

Os modelos experimentais descritos nos itens 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 são os modelos analisados no presente trabalho.

4.2.1 Fattuhi (1990a)

Em seu trabalho, Fattuhi (1990a) testou 18 consolos de concreto armado reforçado com fibras de aço. Inicialmente, as dimensões dos consolos foram de 150 x 150 x 200 mm, porém devido à dificuldade de desmoldes foi colocado no molde uma placa plástica de 1 a 3 mm, provocando alteração nas dimensões dos consolos, que variou a profundidade de 149 a 151 mm e a largura de 153 a 156 mm. Vale ressaltar que as fibras foram usadas como armadura secundária, atuando principalmente na resistência ao cisalhamento. O volume de fibra, a taxa de armadura e a razão vão-profundidade são variados.

A ruptura dos consolos reforçados com fibras de aço ocorreu de forma dútil e gradual, apresentando um comportamento elástico-plástico, ou seja, ocorreu o escoamento das barras principais no máximo e após ocorreu uma diminuição na resistência dos consolos. Portanto, Fattuhi (1990a) concluiu que consolos fabricados com concreto convencional apresentam falhas repentinas ao atingir a carga máxima. Porém, consolos reforçados com fibras de aço evitam uma ruptura primária por cisalhamento, melhora a resistência e ductilidade.

4.2.2 Fattuhi (1990b)

Fattuhi (1990b), em seu trabalho *Strength of SFRC corbels Subjected to Vertical Load*, testou 32 consolos de concreto armado, sendo 26 reforçado com fibras de aço. Esses consolos foram submetidos a um carregamento vertical, os principais parâmetros analisados nos reforçados com fibras de aço foi a taxa de armadura, volume de fibras e o vão-profundidade.

O autor concluiu após os testes que a adição de fibras melhorou a resistência e a ductilidade dos consolos, também observou que o tamanho da abertura da fissura é inversamente proporcional ao volume de fibras de aço, ou seja, quanto maior o volume de fibras de aço menor será abertura das fissuras (FATTUHI,1990b).

4.2.3 Fattuhi (1994)

Fattuhi (1994) realizou ensaios em 38 consolos com as seguintes dimensões de 150x150x200mm reforçado com fibras de aço e submetidos a carregamento vertical. Em 28 desses consolos as fibras de aço foram utilizadas de forma a resistir os esforços de cisalhamento. Nos modelos se variou os parâmetros de taxa de armadura, volume de fibras de aço e a relação vão-profundidade. O autor concluiu que com a adição de fibras de aço se teve um aumento na resistência e ductilidade do consolo. Outro fator, observado é que ao aumentar o volume de fibras de aço se tem uma diminuição na largura das fibras, também deve ser ressaltado que consolos com a relação vão-profundidade maiores apresentaram uma resistência ao cisalhamento menor.

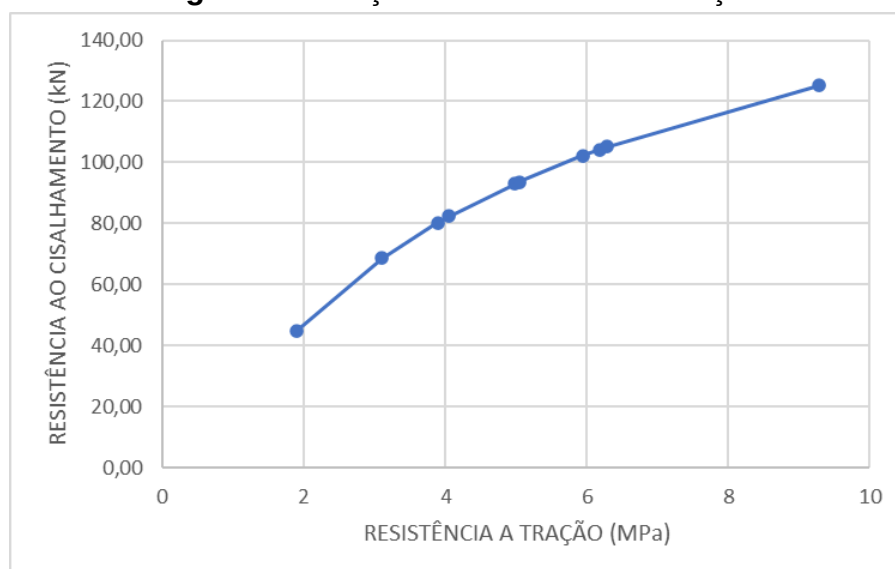
5 RESULTADOS E DISCURSÃO

5.1 ANÁLISE PARAMÉTRICA

Foram realizadas algumas análises paramétricas no modelo proposto por Kurtoglu *et al.* (2017), com a finalidade de entender melhor o comportamento do modelo de acordo com as variáveis consideráveis. Variando-se os parâmetros da taxa de armadura, resistência a compressão do concreto, volume de fibras, resistência a tração do concreto reforçado com fibras de aço e a relação vão-profundidade.

Adota-se o modelo 12 da base de dados do autor Kurtoglu *et al.* (2017), onde mantém um dos dados fixos e variando o parâmetro a ser estudado. Iniciou-se variando a resistência à tração do concreto reforçado com fibras de aço. Conforme a Figura 4 com o aumento da resistência a tração se obtêm um aumento na resistência ao cisalhamento, já os valores de resistência à tração próximo a 5MPa se observa que se obtêm resultados próximo ao obtido experimentalmente por Fatturi relatado por Kurtoglu *et al.* (2017) em seu trabalho.

Figura 4:Variação da Resistência à tração

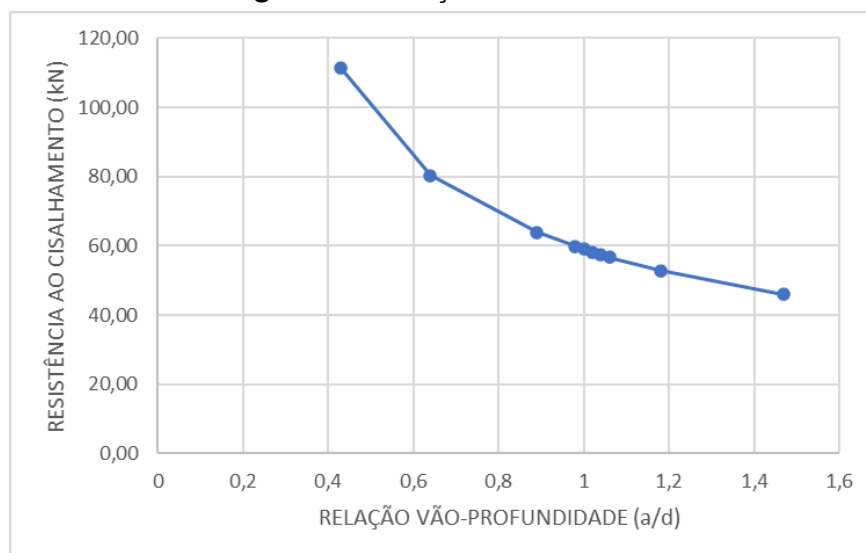


Fonte: Autora (2022).

Em relação vão-profundidade (a/d), nota-se uma variação inversamente, ou seja, ao aumentar a relação vão-profundidade se tem uma diminuição na resistência ao cisalhamento. Fattuhi (1994), em seu trabalho relata que quando se aumenta a relação vão-profundidade há um aumento na ruptura dos consolos por cisalhamento mesmo

com a utilização das fibras de aço para reforçar a peça. Essa variação pode ser evidenciada pela análise da Figura 5.

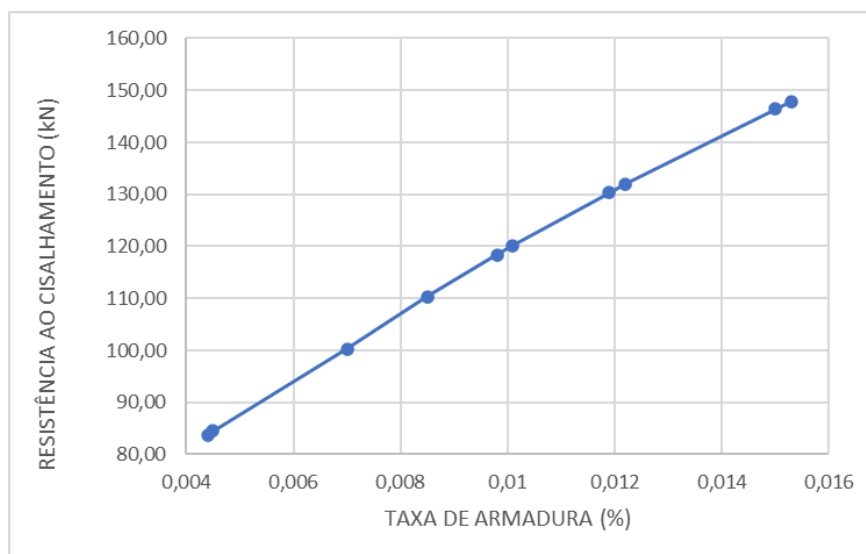
Figura 5: Relação Vão-Profundidade.



Fonte: Autora (2022).

Ao variar a taxa de armadura nota-se que a resistência ao cisalhamento aumentou de até 16%. A taxa de armadura é um dos parâmetros que tem grande influência na resistência ao cisalhamento. A Figura 6 representa os dados do modelo 12 variando apenas a taxa de armadura. Costa (2009) em seu trabalho constatou que nos seus modelos de consolos reforçados com fibras com maior taxa de armadura se teve menores abertura na interface consolo-pilar.

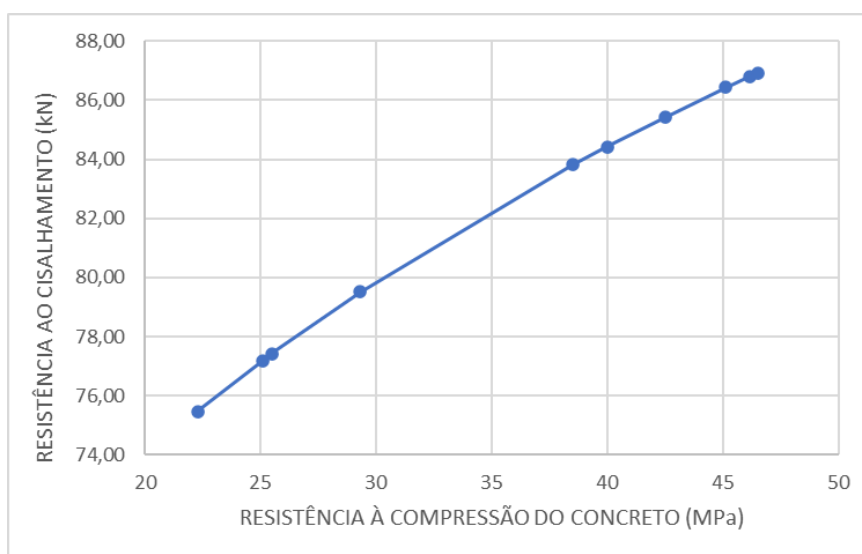
Figura 6: Variação da Taxa de Armadura



Fonte: Autora (2022).

Ao variar o parâmetro resistência à compressão do concreto observa-se que a influência na resistência ao cisalhamento é pequena variando de 0 a 5 %. Oliveira (2012) em sua pesquisa constatou que a presença de fibras de aço no concreto não tem influência significativa na resistência à compressão, assim consequentemente a resistência a compressão não exerce influência na resistência ao cisalhamento. Na figura 7 se tem os dados da análise para o parâmetro em questão, onde se observa pequenas alterações na resistência ao cisalhamento.

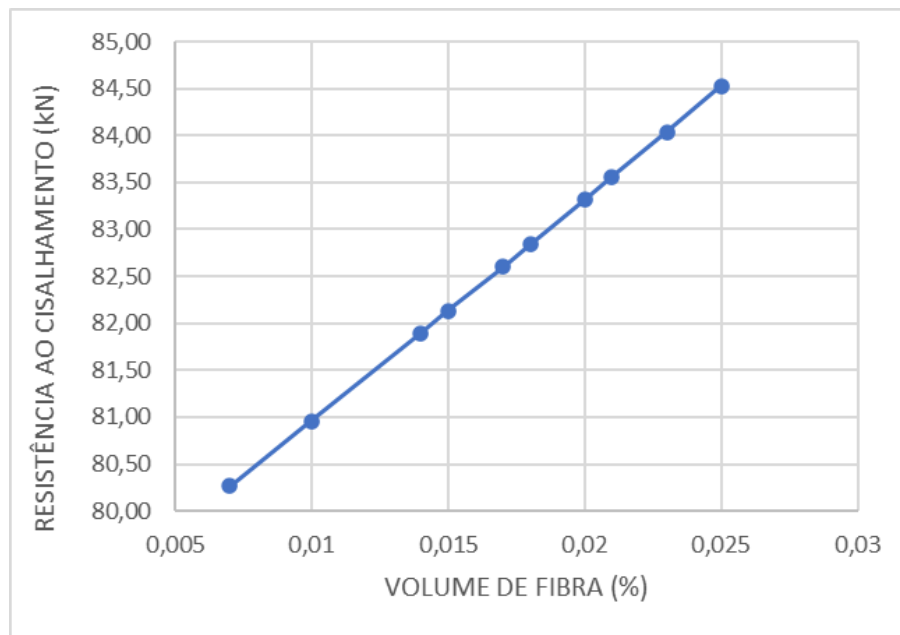
Figura 7: Resistência a compressão do concreto



Fonte: Autora (2022).

Por fim, se analisou a influência do volume de fibras na resistência ao cisalhamento, nota-se que uma pequena variação, cerca de 1% apenas, ao se aumentar o volume de fibras de aço adicionada a matriz do concreto, Kurtoglu *et al.* (2017) em sua pesquisa relata que esse parâmetro não tem efeito dominante na resistência ao cisalhamento. Como observado no Figura 8.

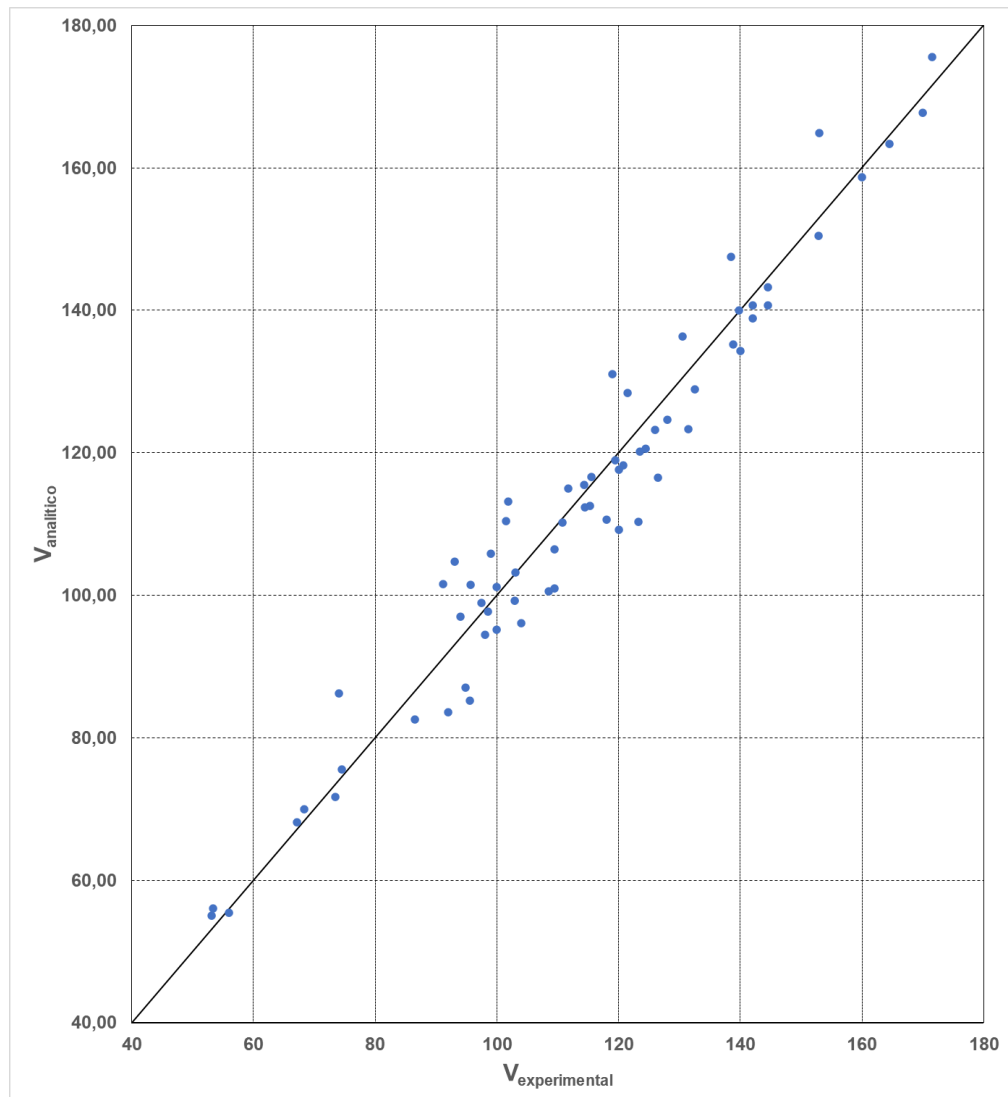
Figura 8: Volume de fibras



Fonte: Autora (2022).

A Figura 9 mostra uma previsão da equação desenvolvida pelo autor Kurtoglu *et al.* (2017) no seu modelo analítico. Onde $V_{\text{experimental}}$ equivale aos resultados obtidos por Fattuhi nos seus modelos experimentais, e V_{obtido} equivale aos resultados obtidos pela autora desse trabalho. Ao fazer uma análise notou-se que 61,20% apresentam valores abaixo da linha de 45°, ou seja, apresenta valores a favor da segurança, apenas 35,82% apresentaram valores acima do previsto e 2,98% apresentaram valores esperado. Assim, confirma-se que a equação desenvolvida por Kurtoglu *et al.* (2017) apresenta um alto desempenho na previsão da resistência ao cisalhamento de consolos reforçados com fibras de aço.

Figura 9: Desempenho da equação 1



Fonte: Autora (2022).

Após analisar os dados pode se concluir os parâmetros que mais influênciam a resistência ao cisalhamento em consolos reforçados com fibras são: resistência à tração do concreto reforçado com fibras, taxa de armadura e a relação vão-profundidade, sendo que o último é considerado o principal parâmetro, por apresentar um efeito inverso na resistência ao cisalhamento da peça. Essa hipótese também foi observada pelos autores Kurtoglu *et al.* (2017) em seu trabalho. Vale ressaltar que Fattuhi (1994), concluiu em seu trabalho a possibilidade de alterar o modo de falha dos consolos testados através dos parâmetros taxa de armadura, volume de fibras e na relação vão-profundidade.

6 CONCLUSÕES

Esse estudo apresentou uma investigação a respeito da resistência ao cisalhamento de consolos reforçados com fibras de aço. Observou-se que as fibras de aço promovem um aumento na resistência ao cisalhamento, capacidade de carga, ductilidade e tenacidade dos consolos.

Na análise paramétrica verificou-se que os parâmetros de resistência à tração do concreto reforçado com fibras, a taxa de armadura e a relação vão-profundidade desempenham um comportamento importante na determinação da resistência ao cisalhamento. Com relação à taxa de armadura houve um aumento de até 16% da resistência ao cisalhamento dos consolos. Já em relação vão-profundidade a resistência ao cisalhamento apresentou um comportamento inverso, ou seja, quanto maior essa relação menor será a resistência ao cisalhamento.

Foi analisada a previsão da equação 1 desenvolvida pelos autores Kurtoglu *et al.* (2017), no qual obteve-se que 61,20% dos resultados eram favoráveis à segurança, assim confirmando que a equação tem um alto desempenho para avaliação da resistência ao cisalhamento.

Portanto, tem-se que as fibras atuam principalmente após a fissuração do concreto agindo como uma ponte de tensão, assim diminuindo a abertura das fissuras. Outro benefício da utilização das fibras de aço é o comportamento plástico-elástico quando atinge a carga de ruptura, a ruptura ocorre de forma graduada.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Fibras de aço para concreto – Requisitos e métodos de ensaio. NBR 15530. Rio de Janeiro, 2019.

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

BARBOZA, Ticiano Silva. **Modelagem numérica de consolo muito curto de concreto armado**. 2018. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/PB, 2018.

CAMPOS, Marcone Alves de. **Comparação entre diferentes modelos de cálculo para consolos de concreto pré-moldado**. 2010. 131 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, Goiânia, 2010.

COSTA, Jônatas Barreto de Andrade. **Estudo Experimental de Consolos de Concreto com Fibras Moldados em Etapas Distintas dos Pilares**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

DAMASCENO, João Henrique Lannes; CATOIA, Bruna; FERREIRA, Marcelo de Araujo. Análise experimental de consolos instalados em etapa posterior à concretagem de pilar com auxílio de adesivo químico. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 23, n. 3, 18 out. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0483>.

BRAZ, Mariane Caroline de Araujo. (2015). **CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO**. Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS, 3(1), 43–56. Recuperado de <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/2638>.

Fattuhi, N.I. (1990), “Strength of SFRC corbels subjected to vertical load”, J. Struct. Eng., 116(3), 701-718.

Fattuhi, N.I. (1990a), “Column-load effect on reinforced concrete corbels”, J. Struct. Eng., 116(1), 188-197.

Fattuhi, N.I. (1994), “Strength of FRC corbels in flexure”, J. Struct. Eng., 120(2), 360-377.

FERREIRA, Josyverton Gomes. **ANÁLISE EXPERIMENTAL DE CONSOLOS CURTOS DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE AÇO**. 2017. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/Pb, 2017.

Gil, Antônio Carlos, Como elaborar projetos de pesquisa. 6.ed.- São Paulo: Atlas, 2017.

KURTOGLU, Ahmet e; GULSAN, Mehmet e; A ABDI, Hussein; A KAMIL, Mohammed; CEVIK, Abdulkadir. Fiber reinforced concrete corbels: Modeling shear strength via symbolic regression. **Computers And Concrete**, Si, v. 20, n. 1, p. 1-12, mar. 2017.

LEITE, A.M. and CASTRO, A.L. de. Influência da matriz cimentícia no comportamento de concretos reforçados com fibras. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.** [online]. 2020, vol. 13, no. 3, pp. 543-562, ISSN: 1983-4195, 05 março 2021. DOI: 10.1590/s1983-41952020000300006. Available from: <http://ref.scielo.org/79b3jr>.

OLIVEIRA, E. M. **Consolos de concreto moldados em duas etapas: Influência do tratamento da interface e da adição de fibras de aço**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

PFEIFER, Walter Klein. **Projeto de consolo de concreto armado de alta resistência com uso do método das bielas e tirantes**. 2017. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

PEREIRA, Paulo R. Cassias. **Dimensionamento de consolos através do Eberick Pré-Moldado**. 2013. Disponível em: https://faq.altoqi.com.br/content/426/1069/pt-br/dimensionamento-de-consolos-atraves-do-eberick-pre_moldado.html. Acesso em: 18 jun. 2022.

RODRIGUES, Yury Ouriques. **ESTUDO EXPERIMENTAL DE CONSOLOS MUITO CURTOS DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO**. 2017. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Recursos Naturai, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

ROSSI, Carlos Rodrigo Costa. **Aderência de armadura em concreto reforçado com fibra de aço**. 2018. 119 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belem, 2018.

VITOR, Paula de Carvalho Palma; SANTOS, Antônio Carlos dos; TRAUTWEIN, Leandro Mouta. Resistência ao cisalhamento em vigas de concreto armado sem armadura transversal reforçadas com fibras de aço. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 255-270, set. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000300280>.