



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – UFERSA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS – CMPF
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LUIZ EDUARDO PORDEUS DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FORÇA CORTANTE DE
CONSOLOS CURTOS CONSIDERANDO A ADIÇÃO DE FIBRAS DE
AÇO**

**PAU DOS FERROS
2022**

LUIZ EDUARDO PORDEUS DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FORÇA CORTANTE DE
CONSOLOS CURTOS CONSIDERANDO A ADIÇÃO DE FIBRAS DE
AÇO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido – UFERSA, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

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

**PAU DOS FERROS
2022**

© 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.

048a Oliveira, Luiz Eduardo Pordeus de .
 Avaliação da resistência à força cortante de
 consolos curtos considerando a adição de fibras de
 aço / Luiz Eduardo Pordeus de Oliveira. - 2022.
 38 f. : il.

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

 1. Consolos curtos. 2. Fibras de aço . 3.
 Resistência à força cortante. 4. Bielas e tirantes.
 I. Silva, Matheus Fernandes de Araújo , 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.

LUIZ EDUARDO PORDEUS DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FORÇA CORTANTE DE
CONSOLOS CURTOS CONSIDERANDO A ADIÇÃO DE FIBRAS DE
AÇO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido – UFRSA, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 22/11/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Matheus Fernandes de Araújo Silva
Presidente

Prof. Dr. Leonardo Henrique Borges de Oliveira
Primeiro Membro

Prof. Me. José Henrique Maciel de Queiroz
Segundo Membro

DEDICATÓRIA

*A Deus e a toda
minha família, em
especial aos meus
pais, Pedro e Maria
das Graças e à
memória de Maria
Alice de Araújo e
Francisca Sarmento de
Oliveria, minhas avós*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por me conceder saúde, coragem e força para seguir em busca dos meus objetivos.

Aos meus pais, Pedro Tavares e Maria das Graças Pordeus, por acreditarem nos meus sonhos e pelo apoio em todos os momentos dessa jornada.

Aos meus tios, Francisco das Chagas Pordeus e Clea Maria Pordeus, por me acolherem como um filho durante toda a minha jornada acadêmica e fornecerem os subsídios necessários para o meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

A todos os meus familiares, por todo apoio e incentivo durante esse processo acadêmico.

À Eva Priscyla, por ser alicerce durante todo esse período, por acreditar e me incentivar em todos os momentos.

Aos meus companheiros de jornada, John David e Joelton Santana, por todos os ensinamentos e apoio nas diversas situações de dificuldade durante todo esse percurso.

Aos amigos que conheci ao longo da minha jornada na UFERSA por todos os ensinamentos construtivos, em especial a Eduardo Duarte, Rômulo Sobreira, William Vieira, Karina Estrela, Breno Eduardo e Kaelly de Freitas.

Ao prof. Dr. Matheus Fernandes de Araújo Silva por confiar no meu estudo e aceitar trilhar essa jornada como meu orientador, por toda a paciência e compromisso dedicados a mim. Por ser um grande exemplo de pessoa e de docente.

A todos que de alguma forma contribuíram nesse processo, meus votos de gratidão.

“Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas mudam o mundo.”

(Paulo Freire)

RESUMO

Os consolos são elementos em balanços curtos, responsáveis pela ligação entre viga e pilar, ou até mesmo entre laje e pilar. Dessa forma, esses elementos devem ter um estudo minucioso, pois se tratando de um componente de ligação é necessário que haja um dimensionamento adequado, de modo que sejam atendidas as necessidades estruturais, uma vez que os consolos são elementos com pequenas áreas, mas possuem fundamental importância para estabilidade global do pórtico. O presente trabalho apresenta uma revisão teórica acerca dos principais conceitos relevantes para temática da pesquisa e compara os resultados dos modelos experimentais de consolos curtos com adição de fibras de aço com os resultados teóricos obtidos através da aplicação de formulação teórica para o cálculo da resistência à força cortante desses elementos. No entanto, o modelo de cálculo teórico utilizado não considera em suas equações a influência das fibras de aço para determinação da resistência à força cortante dos consolos. O erro de modelo entre os resultados experimentais e teóricos apresentou aumento à medida que se analisa os consolos curtos com maior taxa volumétrica de fibras de aço. Apesar de não considerar a influência das fibras de aço, três modelos experimentais apresentaram resistência à força cortante teórica maior que o valor correspondente ensaiado. Além disso, a maioria dos modelos experimentais analisados apresentaram ruptura pelo estado limite último do esmagamento da biela. Os consolos apresentaram um erro de modelo maior que 1,0, evidenciando que os resultados experimentais foram maiores que a resistência prevista no modelo de cálculo utilizado.

Palavras-Chave: Consolos curtos; Fibras de aço; Resistência à força cortante; Bielas e tirantes.

ABSTRACT

Corbels are short overhang elements, responsible for the connection between beam and column, or even between slab and column. Thus, these elements must have a thorough study. Since it is a connection component, it is necessary that there is an appropriate design, so that the structural needs are met. Corbels are elements with small areas, but have fundamental importance for the overall stability of the frame. This paper presents a theoretical review about the main concepts relevant to the research theme and compares the results of experimental models of short corbels, with steel fiber additions, with the theoretical results obtained by applying a theoretical formulation to the calculation of the shear force resistance of these elements. However, the theoretical formulation used does not consider in its equations the influence of steel fibers to determine the shear force strength of corbels. The relative error between the experimental and theoretical results increased as the short corbels with higher volume of steel fibers were analyzed. Despite not considering the influence of steel fibers, three experimental models showed higher theoretical shear strength than the corresponding tested value. Moreover, most of the experimental models analyzed presented failure by the ultimate limit state of the strut crushing. The corbels presented a model error greater than 1.0, showing that the experimental results were superior than the strength predicted in the calculation model used.

Keywords: Short corbels; Steel fibers; Shear strength; Struts and ties.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	PROBLEMATIZAÇÃO.....	13
3	OBJETIVOS	14
3.1	GERAL.....	14
3.2	ESPECÍFICOS.....	14
4	JUSTIFICATIVA.....	15
5	REVISÃO TEÓRICA.....	16
5.1	CONSOLOS DE CONCRETO	16
5.1.1	APARATO HISTÓRICO	16
5.1.2	TIPOS DE RUPTURA.....	17
5.2	CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO	21
5.3	CÁLCULO DE CONSOLOS CURTOS DE ACORDO COM A NBR 9062.....	23
5.4	MODELO DE BIELAS E TIRANTES.....	24
5.4.1	PROPOSTA ADAPTADA POR FERNANDES E EL DEBS (2005)	25
6	METODOLOGIA.....	28
7	RESULTADOS (Falta corrigir).....	29
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
8.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	36
	REFERÊNCIAS.....	37
	APÊNDICE A – BANCO DE DADOS.....	39

1 INTRODUÇÃO

As estruturas pré-moldadas vêm cada vez mais ganhando visibilidade no setor da construção civil. Esse tipo de estrutura tem seus elementos produzidos, total ou parcialmente, fora do canteiro de obras e apresenta algumas vantagens em relação aos métodos tradicionais de construção em concreto armado, essas são: redução ou extinção do cimbramento, elevado controle de qualidade, rapidez na execução, além de manter o canteiro de obras mais organizado, pois a geração de resíduos nesse método construtivo é menor.

Dentre os componentes das estruturas pré-moldadas, pode-se destacar os consolos, que são elementos estruturais em balanços curtos projetados de pilares ou paredes para apoiar outros elementos estruturais como lajes ou vigas, ou para cargas de utilização (OLIVEIRA, 2012).

Dessa forma, é de fundamental importância o estudo das ligações, que são os componentes principais nesse método construtivo, pois o comportamento do sistema estrutural de concreto pré-moldado correspondente está diretamente relacionado ao conhecimento do comportamento de suas ligações, que são responsáveis, principalmente, pela redistribuição dos esforços da estrutura, além da sua estabilidade (CAMPOS, 2010).

De acordo com a ABNT NBR 9062:2017, os consolos podem ser calculados a partir de três modelos, de acordo com sua classificação que é baseada nos intervalos especificados da relação a/d (relação entre a distância da força até a face do pilar e a altura útil do consolo). Nesse sentido, a norma prescreve que os consolos muito curtos ($a/d < 0,5$) devem ser calculados a partir do método de atrito cisalhamento, já os consolos curtos ($0,5 \leq a/d \leq 1,0$) são dimensionados por meio do método de bielas e tirantes, enquanto que os consolos longos ($1,0 \leq a/d \leq 2,0$) podem ser dimensionados como vigas, através da teoria da flexão.

Os consolos curtos são projetados a partir da consideração de sua geometria por meio de modelos de bielas e tirantes. Tal simplificação é utilizada pela incidência de regiões tracionadas e comprimidas que formam uma treliça generalizada no interior do consolo. Dessa forma, para que haja equilíbrio nesse sistema, deve-se colocar, na

região tracionada, um tirante de aço para resistir as tensões de tração e na região comprimida é necessário verificar se a resistência do concreto é suficiente para suportar as tensões de compressão gerada nas bielas.

Além da armadura do tirante, colocada para suportar a resultante das tensões de tração na região superior do consolo, uma outra armadura pode ser adicionada com intuito de “costurar” eventuais fissuras que venham a aparecer na interface consolo-pilar, além de promover um confinamento da biela de compressão garantindo, dessa forma, uma ductibilidade à peça. Essa armadura é denominada de armadura de costura e é distribuída ao longo da altura útil do consolo, isto é, na direção horizontal do elemento estrutural (FERNANDES *et al*, 2005).

Dentre os diversos modelos de cálculo para o projeto de consolos, FERNANDES e EL DEBS (2005) analisaram a resistência à força cortante de consolos curtos e muito curtos com a contribuição da armadura de costura e apresentaram duas propostas de modelos de bielas e tirantes para o cálculo desses elementos. Nesses modelos, considera-se o Estado Limite Último de escoamento das armaduras do tirante e de costura, com as barras distribuídas ao longo da respectiva altura útil efetiva. Em um desses modelos os autores citados propõem uma adaptação do modelo de bielas e tirantes estudado por LEONHARDT e MONNING (1978), em que a contribuição da armadura de costura é adicionada e, dessa forma, somam-se as parcelas de contribuição da mesma, juntamente com a influência da armadura do tirante principal limitadas a dois terços da altura útil do elemento (SANCHES, 2019).

Além disso, com intuito de melhorar o desempenho do elemento de ligação quando o mesmo atinge o estágio de fissuração, pode-se adicionar fibras ao concreto para que haja a transmissão das tensões de tração através das fissuras e, conseqüentemente, sejam reduzidas as tensões na ponta da fissura. Segundo Oliveira (2012), a adição das fibras no concreto executado nos consolos é justificada ainda pelo fato de serem distribuídas de forma aleatória, podendo costurar fissuras que apareçam em regiões fora do alcance da armadura do tirante e até mesmo dos estribos horizontais que também possuem a função de contornar os inconvenientes causados pelas fissuras.

2 PROBLEMATIZAÇÃO

Os consolos curtos são elementos de ligação que possuem altas taxas de armaduras em relação a sua área, pois nessa peça o esforço cortante é predominante e, por esse motivo, seu comportamento estrutural não é tratado pela teoria clássica da flexão, assim como são calculadas as vigas.

Além da armadura do tirante principal, os consolos recebem ainda estribos verticais e horizontais – armadura de costura. No entanto, Leonhard e Monning (1978) afirmam que os estribos verticais não possuem capacidade de transmissão de esforços ao consolo, servindo apenas para aumentar a rigidez do conjunto de armaduras. Indicam ainda que as armaduras de costura aumentam a capacidade resistente das bielas de compressão, quando espaçadas a pequenas distâncias e distribuídas corretamente ao longo da altura útil do elemento.

Além disso, a adição de fibras no concreto pode melhorar de forma significativa o desempenho dos consolos, uma vez que as mesmas desempenham um papel importante no controle de abertura das fissuras que podem surgir nesse elemento, além de proporcionar um efeito de confinamento do concreto nas regiões das bielas de compressão dos consolos, fazendo com o que o concreto atinja valores de resistências mais elevados (OLIVEIRA, 2012).

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

- Comparar os resultados experimentais de consolos curtos com adição de fibras de aço com os resultados obtidos pelo modelo analítico apresentado por: Fernandes e El Debs (2005).

3.2 ESPECÍFICOS

Como objetivos secundários, pode-se citar:

- ampliar a base de dados experimentais de ensaios de consolos curtos apresentada por Souza (2022);
- Investigar a parcela de contribuição das fibras de aço no mecanismo resistente à força cortante no modelo analítico considerado.

4 JUSTIFICATIVA

O uso de estruturas pré-fabricadas vem ganhando cada vez mais força no setor da construção civil. Sua facilidade de montagem, otimização de tempo da obra e diminuição do desperdício de materiais são alguns dos fatores que tornam esse processo construtivo ainda mais atrativo. Segundo a ABNT NBR 9062:2017, as ligações são dispositivos utilizados para compor um conjunto estrutural a partir dos elementos que o formam, com objetivo de transmitir os esforços solicitantes, conforme condições de projeto, sem prejudicar a durabilidade da estrutura.

Esse tipo de elemento de ligação está submetido, de forma predominante, a força cortante e, por esse motivo, deve receber uma atenção especial principalmente na interface consolo-pilar. Dessa forma, para mitigar os efeitos causados pelas altas tensões de tração decorrentes dos esforços cisalhantes atuantes na peça, utiliza-se, além da armadura do tirante principal, os estribos verticais e horizontais. Além disso, pode ser adicionadas fibras de aço ao consolo para substituir os estribos ou até mesmo complementar a rigidez da estrutura. Segundo Costa (2009), adição de fibras ao consolo reduz a fissuração na biela de compressão, além de aumentar a resistência à ruptura dos consolos, proporcionando boa ductilidade mesmo depois da máxima solicitação.

Diante do que foi exposto, é possível perceber a importância desse estudo para o enriquecimento da literatura, tendo em vista que o tema em questão necessita de avanços e de um número maior de pesquisas. Além disso, esse estudo proporciona também a disseminação do modelo analítico utilizado para o cálculo dos consolos curtos.

5 REVISÃO TEÓRICA

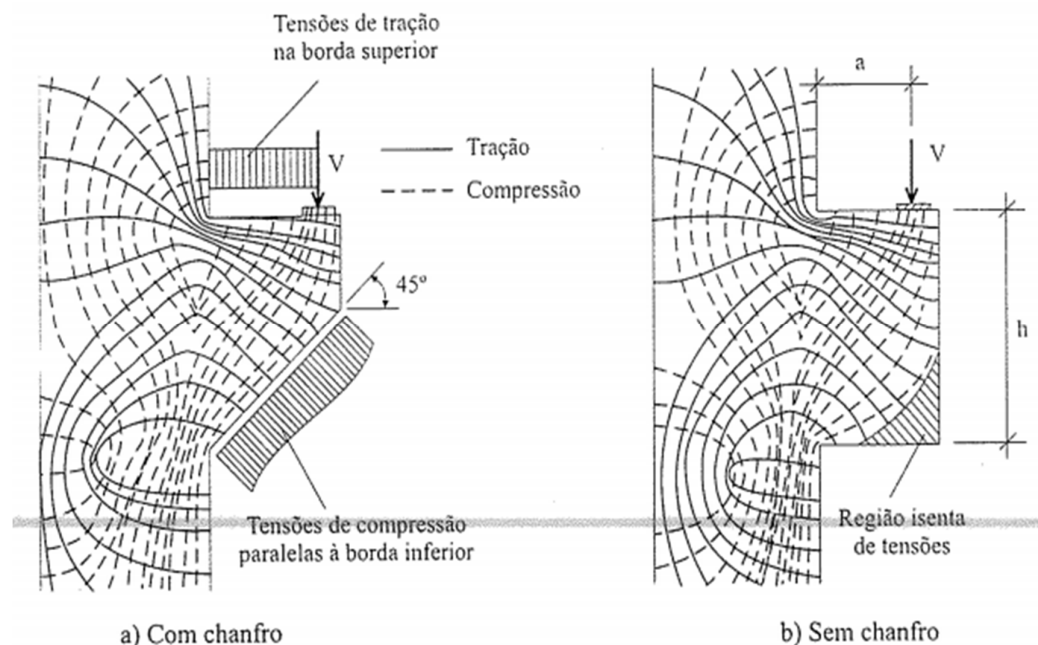
5.1 CONSOLOS DE CONCRETO

5.1.1 APARATO HISTÓRICO

Os consolos são elementos ligados, geralmente, a pilares que servem como apoio para outros elementos estruturais, como vigas e lajes, ou então equipamentos, tais como pontes rolantes. De acordo com Yassin *et al.* (2015), os consolos são elementos curtos em balanço que se projetam da face de pilares ou paredes com o objetivo de receber e transmitir para o elemento no qual está conectado elevados carregamentos provenientes de vigas, lajes ou outros elementos estruturais.

Autores como Franz e Niedenhoff (1963) apud Leonhardt e Mönning (1978) e, posteriormente, por Mehmehl e Freitag (1967) apud Leonhardt e Mönning (1978), realizaram diversos estudos teóricos e experimentais acerca dos consolos. Leonhardt e Mönning (1978) analisaram as trajetórias de tensões principais nesses elementos em um estudo, considerando os consolos com relação $a/h = 0,5$, conforme mostra a Figura 1:

Figura 1: Trajetória de tensões principais em consolos com $a/h = 0,5$.



Fonte: El Debs (2000) adaptado de Leonhardt e Mönning (1978).

Deste estudo os autores chegaram às seguintes conclusões:

- A parte inferior do consolo sem o chanfro é pouco solicitada e, dessa forma, o chanfro não contribui para resistência nessa parte do consolo;
- As tensões de tração na parte superior são aproximadamente horizontais, de modo que é necessário o emprego de armadura nessa região;
- As tensões de compressão seguem do ponto de aplicação da força até a base do consolo, de modo que ocorre a formação de biela nessa região;
- Os estribos verticais utilizados em vigas, não oferecem função resistente nos consolos, uma vez que as resultantes das demais tensões de tração podem ser absorvidas por estribos horizontais.

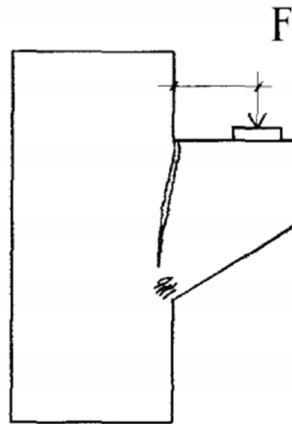
No entanto, a ABNT NBR 9062:2017 recomenda a utilização de estribos verticais, escolhidos por uma taxa mínima de armadura, nos consolos submetidos a cargas diretas com relação $a/d < 1,0$.

5.1.2 TIPOS DE RUPTURA

De acordo com Park e Paulay (1983), os principais modos de ruptura dos consolos são:

- Ruína por flexão: caracterizada pelo aparecimento de uma fissura principal bem aberta ao longo da interface do consolo com o pilar, gerando, conseqüentemente, o esmagamento da parte inferior do elemento. Esse tipo de ruptura ocorre devido ao escoamento da armadura do tirante principal acompanhado, posteriormente, do esmagamento da biela do concreto (ver Figura 2).

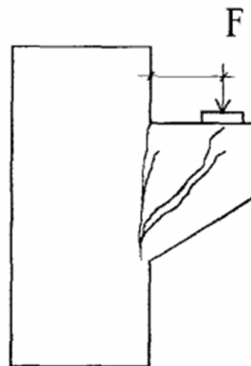
Figura 2: Ruptura típica de flexão.



Fonte: Torres (1998).

- Ruína por fendilhamento da biela comprimida: ocorre, inicialmente, uma fissura de flexão e em seguida aparecem fissuras a aproximadamente 45° ao longo da biela comprimida (ver Figura 3). Esse tipo de ruptura ocorre em consolos com pequena área de concreto na região da biela comprimida ou por falta de armadura distribuída ao longo da altura útil do consolo. Essa armadura proporciona o devido confinamento da biela, minimizando o efeito de fendilhamento na mesma.

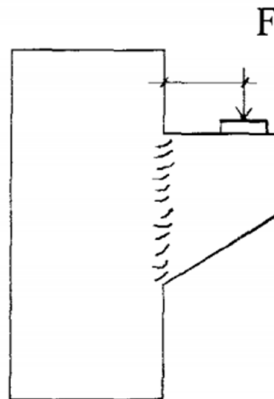
Figura 3: Ruptura típica de fendilhamento da biela comprimida.



Fonte: Torres (1998).

- Ruína por cisalhamento: causa o escorregamento da peça quando a mesma se caracteriza como consolos muito curtos e possui elevada quantidade de armadura de flexão. Essa ruptura é evidenciada pelo aparecimento de fissuras inclinadas, no plano de intersecção do consolo com o pilar (ver Figura 4).

Figura 4: Ruptura típica de cisalhamento.

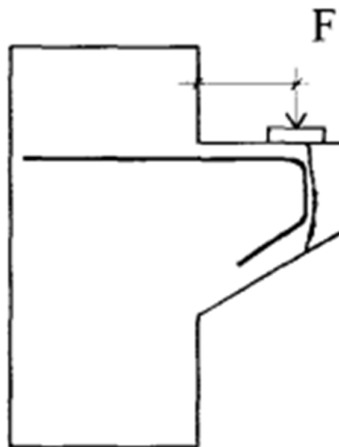


Fonte: Torres (1998).

Além dos tipos de ruptura mencionados, os autores citados ainda mencionam outros tipos de ruína, sendo esses:

- Ruína por falta de ancoragem: ocorre, geralmente, quando a força aplicada está muito próxima da extremidade do consolo, de forma que a ancoragem não seja suficiente para equilibrar o sistema, ou quando há um detalhamento incorreto, de forma a não envolver de maneira adequada o carregamento que está aplicado do consolo. Esse tipo de ruptura é caracterizado por fissuras que seguem no contorno da armação (ver Figura 5).

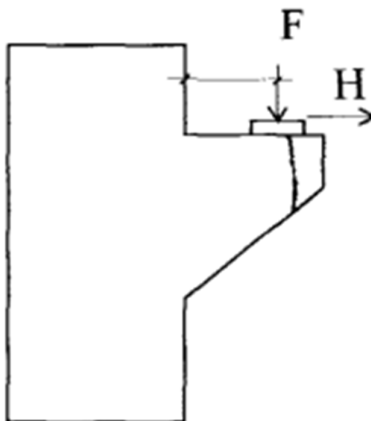
Figura 5: Ruptura típica de falta de ancoragem.



Fonte: Torres (1998).

- Ruína devida ação horizontal: caracterizada pelo surgimento de fissuras que atravessam todo o consolo, chegando até o bordo inferior, no entanto, não se desenvolvem até o pilar. Segundo Torres (1998), um caso comum desse tipo de ruptura ocorre quando, além da existência de uma força horizontal, a altura do consolo em seu bordo externo é muito menor que sua altura junto ao pilar. É importante destacar que uma ação horizontal, seja ela decorrente de pontes rolantes, retração da peça de concreto apoiada sobre o consolo, ou ainda devido à ação do vento, pode agravar de forma intensa todos os mecanismos de ruptura já mencionados (ver Figura 6).

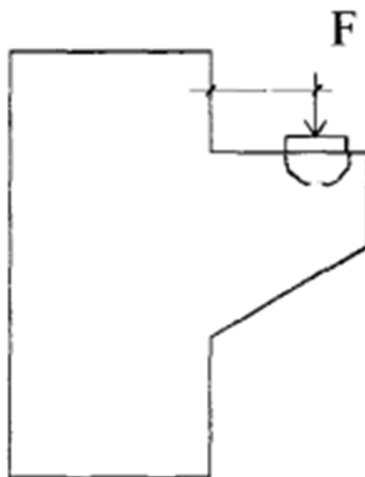
Figura 6: Ruptura típica devida à ação horizontal.



Fonte: Torres (1998).

- Ruína por esmagamento local: evidenciada pelo esmagamento do concreto na região da aplicação da força, devido a uma tensão de compressão muito alta. Esse tipo de ruptura pode quando a área de distribuição da força é muito pequena (ver Figura 7).

Figura 7: Ruptura típica de esmagamento local.



Fonte: Torres (1998).

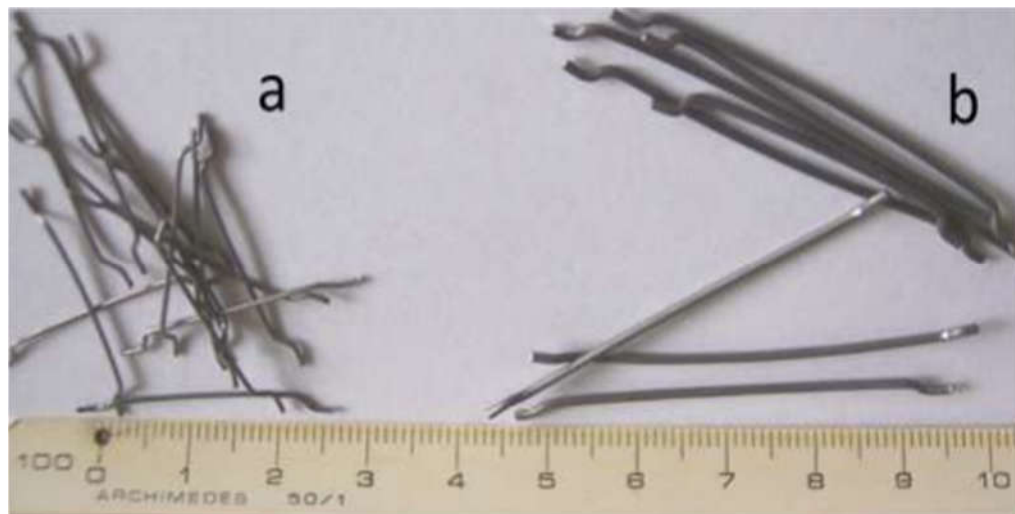
5.2 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO

O concreto armado reforçado com fibras de aço é uma técnica que vem sendo bastante estudada e aprimorada por vários pesquisadores e se baseia na ideia de absorver de forma mais intensa as tensões de tração incidentes no concreto. Dessa forma, as fibras auxiliam às barras de aço da armadura dimensionada a combater o aparecimento de fissuras na peça.

A inserção de fibras de aço na matriz de concreto permite uma melhor transmissão de tensões através das fissuras, reduzindo, por consequência disso, a concentração de tensões em suas extremidades. Além disso, pelo fato de as fibras serem distribuídas de forma aleatória no concreto, as fissuras que possam surgir fora do alcance das armaduras convencionais dimensionadas poderão ser absorvidas por essa adição.

As fibras de aço destinadas ao reforço do concreto são elementos descontínuos e possuem comprimentos bem maiores que sua seção transversal. Em geral, essas fibras possuem extremidades na forma de gancho para aumentar sua ancoragem e seu comprimento varia de 25 mm (fibras curtas), a 60 mm (fibras longas), como mostra a Figura 8 (FIGUEIREDO, 2005).

Figura 8: Fibras de aço curtas (a) e longas (b).



Fonte: Figueiredo (2005).

Para utilização das fibras como reforço da matriz de concreto deve-se estudar e conhecer as propriedades das mesmas como módulo de elasticidade e resistência, bem como seus parâmetros geométricos, tais como seção transversal, comprimento, formato e área de superfície, além de ser necessário o conhecimento de quais propriedades do concreto devem ser melhoradas.

Vários estudos mostram que a inserção das fibras de aço no concreto para execução dos consolos proporciona o efeito de confinamento nas regiões das bielas de compressão dos elementos e, por esse motivo, o concreto, quando confinado, consegue atingir valores de resistência mais elevados. Para tanto, Figueiredo (2005) recomenda que o comprimento da fibra não seja menor que duas vezes a dimensão máxima do agregado – DMC.

De acordo com Costa (2009), o maior benefício do uso de fibras é a ductilidade conferida ao material após o pico de solicitação. Para se obter um comportamento dúctil do material é necessário a incorporação de uma quantidade de fibras que seja proporcional à resistência da matriz de concreto, de forma que em concretos que apresentem maior resistência característica, é necessária a adição de uma porcentagem maior de fibras.

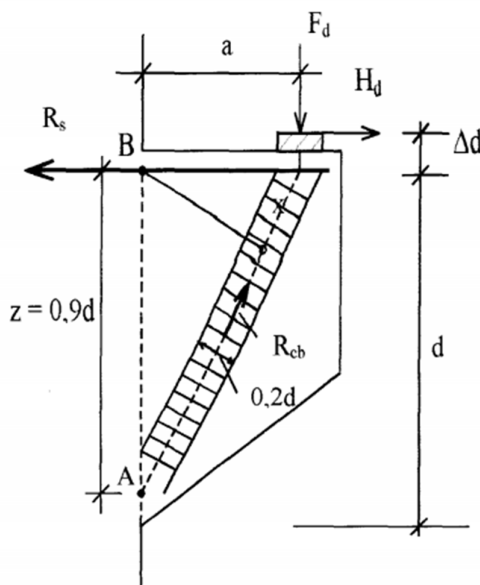
No entanto, a utilização de fibras de aço pode acarretar a dificuldade de uniformização do concreto, em decorrência do engrenamento das fibras. Além disso, também diminui a trabalhabilidade concreto e, por esse motivo, é muito comum a

adição de superplastificantes à mistura, ou a substituição de certa proporção do cimento por pozolanas (COSTA, 2009).

5.3 CÁLCULO DE CONSOLOS CURTOS DE ACORDO COM A NBR 9062

A norma brasileira de Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado (ABNT NBR 9062) solicita que os consolos curtos sejam dimensionados através do modelo de bielas e tirantes. LEONHARDT & MONNIG (1978) propuseram um modelo de bielas e tirantes para a determinação dos esforços internos em consolos curtos através de um modelo de treliça, com carregamento direto, que está ilustrado na Figura 9. Nesse modelo, a armadura do tirante deve ser dimensionada para resistir as tensões de tração que incidem na peça, enquanto que a biela de concreto resiste as tensões de compressão (Torres, 1998).

Figura 9: Modelo estrutural NBR 9062/ LEONHARDT & MONNIG (1978).



Fonte: Torres (1998).

A partir dessa proposta pode-se obter as seguintes expressões de cálculo:

- Força de tração:

$$R_s = 1,2H_d + \frac{a}{0,9d} F_d \quad (1)$$

- Força de compressão na biela:

$$R_{cb} = \frac{F_d \left(0,9^2 + \left(\frac{a}{d} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}}{0,9} \quad (2)$$

- Tensão de compressão na biela:

$$\sigma_{cb} = \frac{F_d \left(0,9^2 + \left(\frac{a}{d} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}}{0,18bd} \quad (3)$$

É importante destacar que para não ocorrer o esmagamento da biela, a tensão solicitante de compressão de cálculo do concreto não deve ultrapassar a resistência a compressão do mesmo.

- Armadura do tirante:

$$A_s = \left(1,2H_d + \frac{a}{0,9d} F_d \right) \frac{1}{f_{yd}} \quad (4)$$

5.4 MODELO DE BIELAS E TIRANTES

O modelo de bielas e tirantes foi criado por Ritter e Morsch no início do século XX, quando estes propuseram a analogia de uma treliça para modelar uma viga fissurada (CEDRIM, 2019). É importante destacar que a treliça clássica, apesar dos refinamentos propostos para o seu modelo, permanece como base para os dimensionamentos de vigas de concreto armado por mais de um século após sua criação. A partir daí várias modificações foram sendo feitas, com intuito de aperfeiçoar e adequar o método aos resultados experimentais estudados.

O método passou a ter uma notoriedade maior após a publicação da pesquisa de Schlaich, Schafer e Jennewein (1987), uma vez que serviu como metodologia para resolver os problemas estruturais em concreto armado, considerando peças com forma geométrica qualquer. Por esse motivo, o método é considerado apropriado para o dimensionamento de elementos de concreto armado submetidos tanto à flexão, como à cisalhamento e torsão.

Cedrim (2019) afirma que o método de bielas e tirantes oferece uma estrutura de projeto singular, unificada e segura para modelar as estruturas de concreto armado submetidas as mais diversas combinações de cargas, fornecendo um claro

entendimento do comportamento da estrutura perante as condições em que o mesmo está exposto.

Em tese, o método de bielas e tirantes, conhecido também como treliça, é o modelo mais utilizado para o cálculo de consolos curtos e idealiza o comportamento do concreto, em trechos descontínuos, por bielas que são campos comprimidos e tirantes que, por sua vez, são os campos tracionados. Nesse modelo os elementos são interconectados nos pontos de nós, resultando, dessa maneira, na formação de uma treliça idealizada (FERNANDES *et al*, 2005).

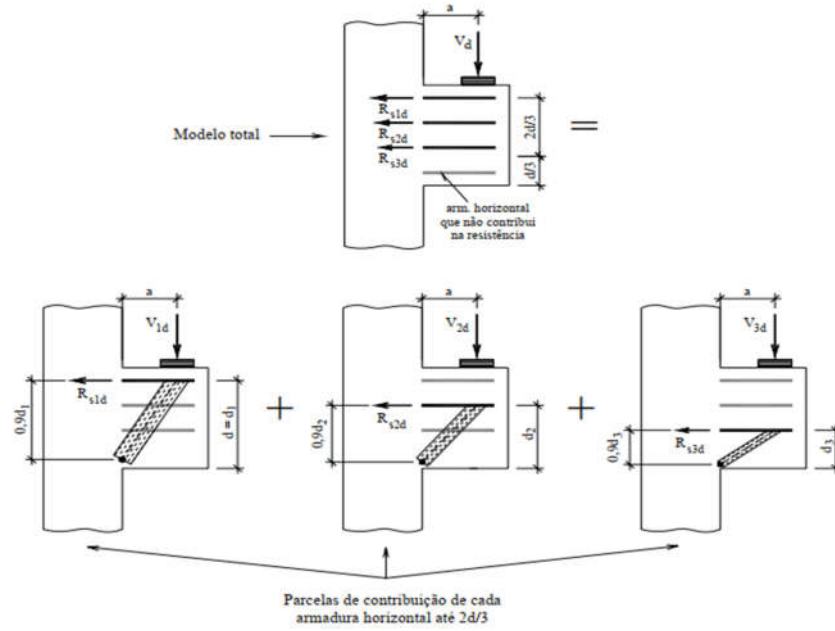
Segundo Aguiar (2018), a proposta desse modelo é justificada pelo comportamento efetivo das estruturas de concreto armado em que os esforços percorrem campos de tensões de compressão que, por sua vez, são interligados por tensões de tração através dos nós. Sendo assim, as tensões de compressão são concentradas nas bielas enquanto que as tensões de tração concentram-se nos tirantes.

O dimensionamento através desse modelo é realizado a partir da verificação da resistência à compressão em uma seção qualquer da biela, sendo o cálculo da área de aço da armadura do tirante feito em função da tensão de escoamento da barra em análise. A verificação da resistência nos nós da treliça idealizada também é recomendada, uma vez que sejam devidamente balanceadas e ancoradas as forças atuantes nesses pontos (FERNANDES *et al*, 2005). Além disso, pode-se considerar nos cálculos a contribuição de armadura de costura, posicionada nos primeiros dois terços da altura útil do consolo, e ainda a influência da adição de fibras de aço no concreto.

5.4.1 PROPOSTA ADAPTADA POR FERNANDES E EL DEBS (2005)

Fernandes e El Debs (2005), adaptaram o modelo de bielas e tirantes proposto por Leonhardt & Monnig (1978) adicionando a este a contribuição da armadura de costura. Essa proposta foi estudada com intuito de reduzir as consideráveis diferenças entre os resultados teóricos e experimentais. A formulação proposta consiste na somatória das parcelas de contribuição das armaduras do tirante principal e das armaduras de costura, distribuídas ao longo de $2/3$ da altura útil da peça, conforme mostra a figura 10.

Figura 10: Modelo de bielas e tirantes para consolos curtos adaptado por Fernandes e El Debs (2005).



Fonte: FERNANDES *et al*, (2005).

Dessa forma, considerando o estado limite último do escoamento das armaduras do tirante, tem-se a seguinte expressão adaptada para a resistência dos consolos curtos:

$$V_{R1} = \sum_{i=1}^n R_{si} \left(\frac{z_i}{a} \right) \quad (5)$$

onde:

$$z_i = 0,9d_i;$$

$$R_{si} = A_{si}f_{yi};$$

n : número de barras longitudinais distribuídas ao longo de $2d_1/3$;

d_i : altura útil efetiva da armadura i considerada.

Para o estado limite último do esmagamento da biela, a força última V_d é escrita da seguinte forma:

$$V_{R2} = \frac{0,18f_c b d'}{\left((0,9)^2 + \left(\frac{a}{d} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

em que:

$$d' = \sum_{i=1}^n \frac{d_i R_{si}}{R_s},$$

$R_{si} = A_{si} f_{yi}$: força resistente correspondente a armadura i considerada;

$R_s = \sum_{i=1}^n A_{si} f_{yi}$: força resistente total.

6 METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho está embasada na análise exploratória suscinta de algumas referências bibliográficas que tratam da temática estudada e serviram de suporte para elaboração do trabalho. A pesquisa se classifica como bibliográfica, tendo em vista que foi feita uma análise criteriosa das diferentes referências que tratam do assunto em questão, com o objetivo de aplicar as informações absorvidas na resolução do problema em foco.

Dessa forma, buscou-se modelos experimentais de consolos curtos com adição de fibras de aço com intuito de ampliar o banco de dados apresentado no trabalho de Souza (2022) que utilizou os modelos ensaiados por Fattuhi (1990) e Fattuhi (1994) - ver Tabela A.1, disposta no Apêndice A –. A partir disso, adicionou-se a esse conjunto de dados os modelos ensaiados por Gussan (2015) em sua tese.

Feito isso, a partir das propriedades e dos resultados dos modelos experimentais empregados, foi implementado, com auxílio do software Excel, as equações do modelo de bielas e tirantes proposto por Leonhardt & Monnig (1978) e adaptado por Fernandes e El Debs (2005), de modo a se analisar diversos parâmetros como o erro de modelo entre os resultados experimentais e teóricos, bem como o critério de ruptura de cada modelo.

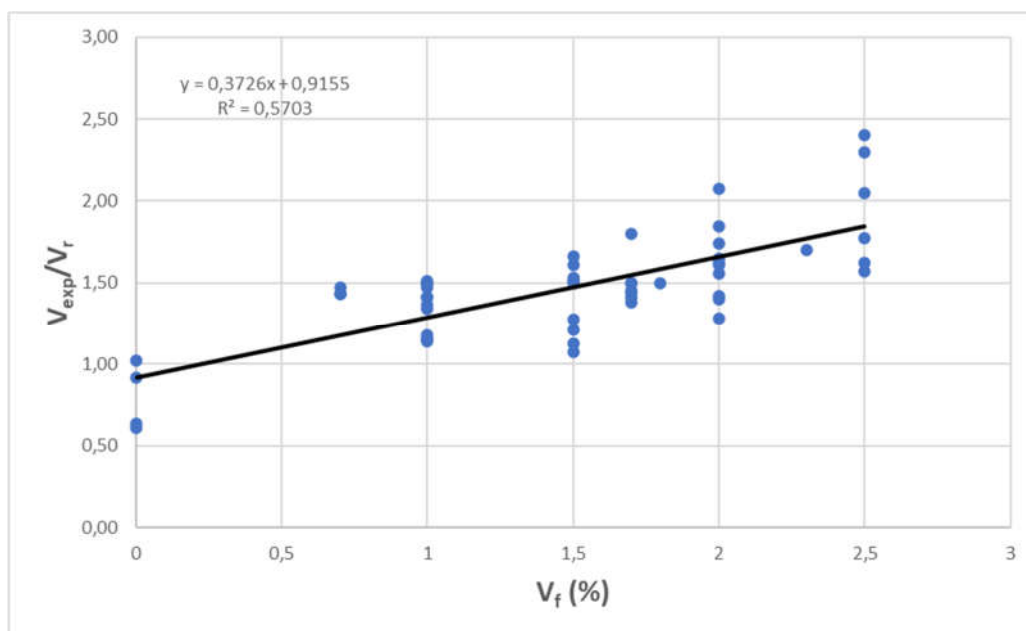
Além disso, determinou-se também o erro de modelo médio e o desvio padrão do conjunto de elementos estudados. Posteriormente, analisou-se a variação do erro de modelo de acordo com os principais parâmetros que afetam a resistência à força cortante dos consolos. Esta investigação foi realizada de forma gráfica, utilizando também o Excel, e por meio de análises estatísticas.

7 RESULTADOS

A partir da comparação entre os resultados experimentais expostos em cada modelo e a resistência do consolo calculada através do modelo de bielas e tirantes proposto por Leonhardt & Monnig (1978) e adaptado por Fernandes e El Debs (2005), obteve-se o erro de modelo de cada um dos elementos dispostos no banco de dados, mostrado na Tabela A.1, Apêndice A. Com base nisso, analisou-se o quanto os resultados teóricos diferiam dos valores experimentais, com intuito de comparar esse erro de modelo com algumas das características dos consolos estudados.

O gráfico que relaciona o erro de modelo com a porcentagem de fibras de cada elemento, mostrado na Figura 11, evidencia que a diferença entre os resultados experimentais e teóricos aumenta à medida que a porcentagem de fibras cresce. Isso ocorre devido a insuficiência do modelo de cálculo considerado que não considera a influência das fibras de aço na determinação da resistência dos consolos. Dessa forma, é possível afirmar que quanto maior for o volume de fibras adicionado na matriz de concreto em sua produção, maior será o erro de modelo quando a resistência teórica for determinada a partir das formulações propostas utilizadas.

Figura 11: Erro de modelo *versus* porcentagem de fibras de aço.

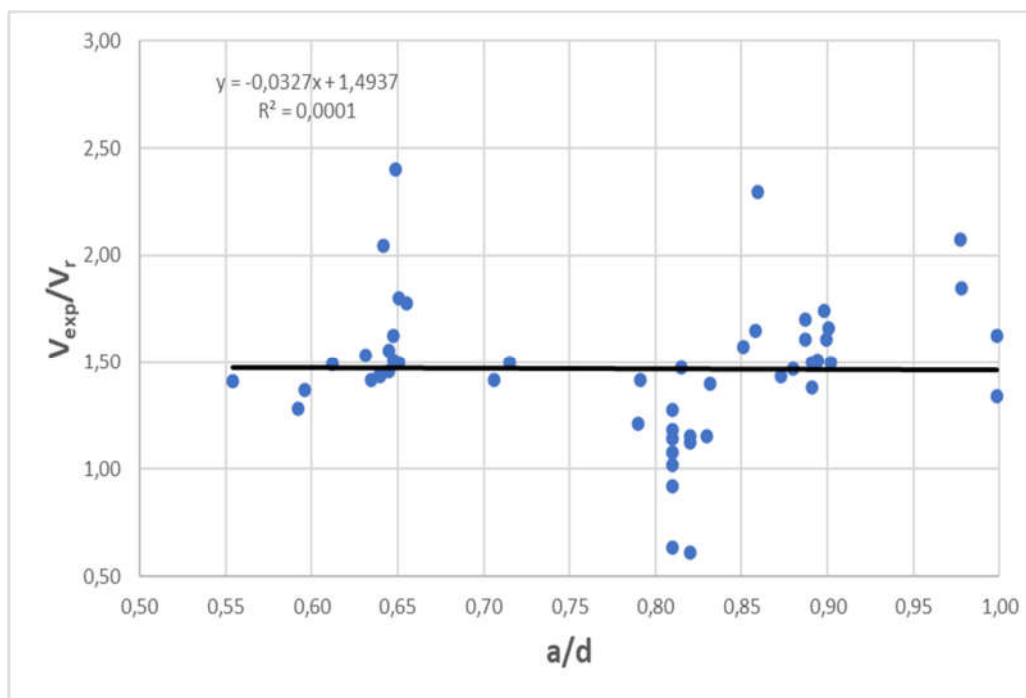


Fonte: Autor (2022).

Além disso, é importante destacar que a tendência linear foi a que obteve maior correlação entre as demais. Entretanto, é possível observar que há dispersão entre os pontos, apesar da configuração bem definida da linha de tendência. Isto posto, para que haja um menor erro de modelo entre os resultados apresentados é necessário incorporar ao modelo utilizado uma expressão que considere diretamente a influência das fibras de aço na resistência do elemento.

Analisou-se também a correspondência do erro de modelo com a relação a/d de cada consolo, como mostra a Figura 12. Neste caso, a linha de tendência linear apresentou valor de coeficiente de determinação bem baixo, estando distante de um valor considerável para relacionar as variáveis. Apesar da dispersão entre os pontos, é possível observar que o erro de modelo não apresenta variações à medida que se altera a relação a/d , pois não há correlação evidente entre as duas variáveis em análise. Além disso a linha de tendência mostra também que os valores do erro de modelo concentraram-se na faixa de 1,5.

Figura 12: Erro de modelo *versus* relação a/d .



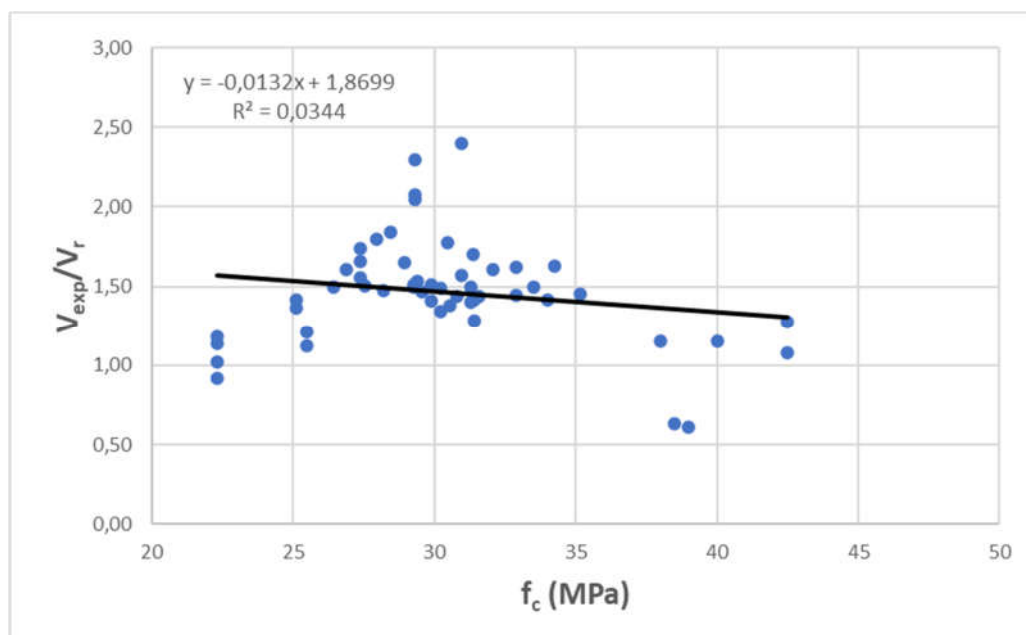
Fonte: Autor (2022).

No entanto, no modelo teórico utilizado, a relação a/d influencia diretamente na força última tanto para o estado limite último de esmagamento da biela, como para o de escoamento da armadura do tirante, de tal modo que para maiores valores de a/d

a resistência teórica tende a diminuir proporcionando, conseqüentemente, um maior erro de modelo entre os resultados teóricos e experimentais. Portanto, pode-se afirmar que esse parâmetro é tratado de maneira precisa no modelo teórico estudado.

Assim como nas situações apresentadas anteriormente, o gráfico ilustrado na Figura 13 apresenta grande dispersão entre os seus pontos. De modo particular, é possível observar a necessidade de uma variação maior da resistência à compressão do concreto, tendo em vista que a maioria das amostras possuem valores de resistência concentrados no intervalo entre 25 e 35 MPa, estando apenas 6 modelos com resistências superiores e 4 com resistências inferiores. Dessa forma, como o banco de dados em estudo apresenta resistências em intervalo bem limitado, isto é, com pequena variação, não é possível estabelecer o quanto a resistência à compressão do concreto influencia, de forma direta, na relação entre a resistência teórica e a experimental.

Figura 13: Erro de modelo *versus* resistência à compressão do concreto.



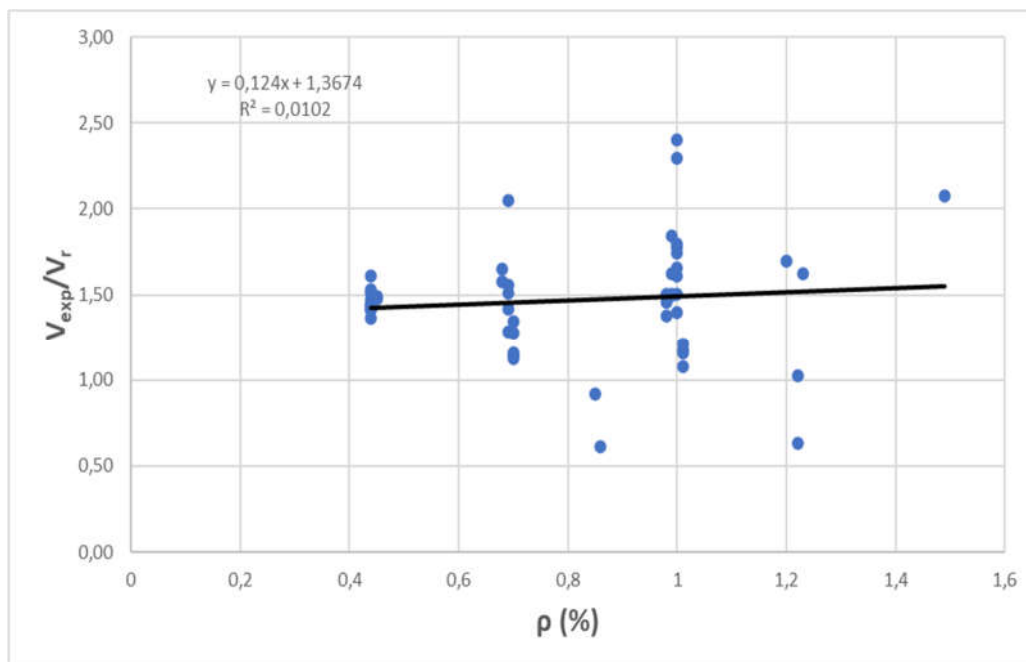
Fonte: Autor (2022).

É importante destacar também que o valor do coeficiente de determinação evidencia que os dados não apresentam proximidade com a linha de tendência ajustada. Contudo, a variável de resistência à compressão do concreto influencia na determinação da força última do consolo quando se trata do estado limite último de esmagamento da biela, de modo que quanto maior seja essa variável, maior será a

resistência do elemento, desde que os demais parâmetros de influência permaneçam constantes. Com isso, é possível afirmar que o erro de modelo sofreria diminuição com o aumento da resistência à compressão do concreto quando o critério de ruptura da peça fosse o esmagamento da biela comprimida.

O gráfico que relaciona o erro de modelo com a taxa de armadura utilizada em cada um dos consolos do banco de dados, mostrado na Figura 14, apresenta valor de coeficiente de determinação bem abaixo do desejável para representar uma ligação direta entre os parâmetros. Ao analisar o gráfico em questão, pode-se perceber que há vários conjuntos de consolos que apresentam taxas de armaduras similares, concentrando-se em aproximadamente 0,45%, 0,7% e 1%.

Figura 14: Erro de modelo *versus* taxa de armadura.



Fonte: Autor (2022).

No entanto, o valor do erro de modelo difere bastante em cada um desses conjuntos, fato que evidencia a grande dispersão entre os pontos e o consequente valor do coeficiente de determinação. Por esse motivo, a curva de tendência linear não consegue correlacionar os dados de maneira significativa, pois o baixo valor do coeficiente de determinação evidencia que apenas 1,02% das variações do erro de modelo são explicadas a partir das variações da taxa de armadura do tirante de cada consolo estudado.

Além disso, a maioria dos resultados dos modelos teóricos analisados pelas formulações propostas por Leonhardt & Monnig (1978) e adaptadas por Fernandes e El Debs (2005) apresentaram como critério de ruptura o esmagamento das bielas comprimidas e, por esse motivo, a taxa de armadura do tirante não interfere no valor do erro de modelo, pois a resistência calculada com base nesse estado limite último não leva em consideração o parâmetro em questão. Tal fato pode explicar de maneira contundente o baixo valor do coeficiente de determinação.

Portanto, é possível afirmar que, assim como o parâmetro a/d , a taxa de armadura é tratada de maneira contundente no modelo teórico proposto por Leonhardt & Monnig (1978) e adaptado por Fernandes e El Debs (2005), visto que essa variável não interfere de forma direta no erro de modelo dos modelos estudados.

Os modelos estudados apresentaram, em sua maioria, resultados a favor da segurança, uma vez que a média do erro de modelo dos consolos, mostrada na Figura 15, evidencia essa afirmação. Posto isso, é possível observar que, em média, os resultados experimentais são 47% maiores que os resultados obtidos a partir do modelo teórico utilizado.

Figura 15: Média e desvio padrão dos valores do erro de modelo de cada modelo.

Média dos erros de modelo	Desvio padrão dos erros de modelo
1,47	33%

Fonte: Autor (2022).

Outro parâmetro estatístico importante para analisar os resultados do erro de modelo de cada modelo é o desvio padrão. A partir do valor do desvio padrão mostrado na figura 15 é possível afirmar que os resultados do erro de modelo variaram 33% em torno do valor médio. A partir disso, é possível perceber que mesmo quando os resultados do erro de modelo variam para valores abaixo da média os modelos apresentam-se ainda a favor da segurança.

Dessa maneira, o desvio padrão calculado indica que há valores do erro de modelo que se apresentaram tolamente a favor da segurança, evidenciando um superdimensionamento do elemento, como também existe valores que mostram uma maior correspondência entre os resultados teóricos e experimentais.

A partir da análise de cada um dos gráficos apresentados pode-se perceber que alguns pontos apresentaram erro de modelo com valores abaixo de 1, isto é, a resistência experimental ensaiada é menor que a resistência teórica calculada, evidenciando que o modelo está contra a segurança. Esses modelos foram ensaiados por Gussan (2015) e todos eles tiveram como critério de ruptura o esmagamento da biela comprimida e, de modo particular, não foi adicionado a esses modelos nenhuma porcentagem de fibras de aço. Dessa forma, é possível relacionar essa baixa resistência experimental a falta das fibras de aço no modelo, uma vez que nos modelos que utilizaram a mesma o erro de modelo não apresentou valores contra a segurança e, além disso, as demais propriedades do concreto e da geometria do modelo que influenciam diretamente na resistência não apresentaram grandes variações.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo determinou-se a resistência teórica dos modelos apresentados no banco de dados (ver apêndice A) a partir das formulações propostas por Leonhardt & Monnig (1978) e adaptadas por Fernandes e El Debs (2005), com intuito de compará-las com os resultados experimentais trazidos por cada um dos autores. É importante destacar que as equações utilizadas consideram a influência da armadura de costura nos consolos, mas nos modelos estudados os autores não utilizaram esse tipo de armadura na modelagem dos elementos.

Três modelos de consolos ensaiados por Gussan (2015) não possuíam fibras de aço em sua composição e apresentaram resistências teóricas bem acima dos resultados experimentais, configurando uma situação contra a segurança. Os demais modelos apresentaram um erro de modelo razoável ficando todos dentro do limite de segurança. Além disso a maioria dos modelos apresentados pelo autor apresentaram ruptura de acordo com o estado limite último do esmagamento da biela, com exceção de dois consolos que falharam devido ao escoamento da armadura do tirante.

Os modelos ensaiados por Fattuhi (1990) e Fattuhi (1994) apresentaram um erro de modelo maior comparando-se com os modelos expostos por Gussan (2015), isto é, os consolos em questão obtiveram uma resistência à força cortante maior do que o previsto pelas equações do modelo adotado. Apesar de estarem a favor da segurança, existe uma diferença considerável entre as resistências experimental e teórica que pode ser explicada pelo fato das formulações propostas por Leonhardt & Monnig (1978) e adaptadas por Fernandes e El Debs (2005) não considerarem a influência das fibras de aço.

Com base nisso, pode-se concluir que a falta de uma expressão que considere de fato a influência das fibras de aço no cálculo das resistências à força cortante dos modelos foi um dos principais fatores que interferiram nos altos valores do erro de modelo, principalmente nos modelos estudados por Fattuhi (1990) e Fattuhi (1994). Dessa forma, é necessário modelar e incrementar uma expressão que considere a parcela de contribuição das fibras nos cálculos das resistências, com intuito de aproximar ao máximo os valores teóricos dos experimentais.

8.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para dar continuidade a este trabalho, sugere-se o estudo e a modelagem de uma expressão que considere a influência das fibras de aço para incorporar no modelo de cálculo utilizado, tanto para os equacionamentos do estado limite último do esmagamento das bielas, como para as verificações do escoamento das armaduras do tirante.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017.
- CEDRIM, M. B. M. **Aplicação do método das bielas para o dimensionamento de consolos curtos com suporte da otimização topológica**. 2019.
- COSTA, J. B. A. **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.
- DE AGUIAR, C. C. P. **Dimensionamento de estruturas especiais de concreto armado pelo método de bielas e tirantes**. 2018. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Programa de Projeto de Estruturas, Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: Fundamentos e aplicações**. 1. ed. São Carlos EESC-USP, 2000, 441 p.
- Fattuhi, N.I. **Strength of SFRC corbels subjected to vertical load**. J. Struct. Eng., 116(3), 701-718, 1990.
- Fattuhi, N.I. **Strength of FRC corbels in flexure**. J. Struct. Eng., 120(2), 360-377, 1994.
- FERNANDES, R. M.; EL DEBS, M. K. **Análise da capacidade resistente de consolos de concreto armado considerando a contribuição da armadura de costura**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v.7, n.25, 2005; p.103–128.
- FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras**. In: ISAIA, G. C. (Editor). Concreto – Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2, p. 1195-1225.
- GUSSAN, M.E. **Modeling of mechanical behavior of materials and structures with soft computing techniques**. Ph.D. Dissertation, University of Gaziantep, Turkey, 2015.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de concreto**: Casos especiais de dimensionamento de estruturas de concreto armado. v.2.1., Rio de Janeiro: Interciência, 1978.

LANDIM, B. P. B. C.; CASTRO, C. G. **Dimensionamento e análise experimental de consolos de concreto moldado em duas etapas**. 2014. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2014.

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

PARK, R., PAULAY, T. **Reinforced concrete structures**. New York, John Wiley & Sons, 1983. p. 690-700.

SANCHES, Tatiane Capellani. **Avaliação da resistência de consolos pré-moldados monolíticos e concretados posteriormente ao pilar**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, [S. I.], 2019.

DE SOUZA, B. B. **Análise da resistência à força cortante de consolos em concreto com fibras de aço em uma base de dados**. 2022. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, [S. I.], 2022.

TORRES, F. M. **Análise teórico-experimental de consolos de concreto armado**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

YASSIN, L. A. G., SAYHOOD, E. K., HASAN, Q. A. M. **Reinforced Concrete Corbels –State of the Art**. Journal of Materials and Engineering Structures, n 2, 180–204, 2015.

APÊNDICE A – BANCO DE DADOS

Tabela A.1: Banco de dados de consolos curtos com adição de fibras de aço.

Referência	Modelo	a (mm)	b (mm)	d (mm)	h (mm)	ρ	$A_{s,tir}$ (mm ²)	f_f (MPa)	f_y (MPa)	f_c (MPa)	f_t (MPa)	L_f/D_f	V_f (%)	V_{exp} (kN)	V_{R1} (kN)	V_{R2} (kN)	Critério de Ruptura	V_{exp}/V_R
Fattuhi (1990)	1	80	152,5	123	149	0,01	227,23	1100	452	33,53	5,84	60	1,7	153	142,12	101,95	Esm. Da biela	1,50
	2	80	155	124	150	0,0098	227,85	1100	449	35,15	5,44	60	1,7	160	142,71	109,82	Esm. Da biela	1,46
	3	80	152,5	126	150	0,0044	100,65	1100	451	34,02	4,86	60	1,7	91,2	64,34	106,83	Esc. das armaduras	1,42
	4	80	155	125	149	0,0044	101,62	1100	451	32,89	5,3	60	1,7	93	64,45	103,87	Esc. das armaduras	1,44
	9	80	152,5	123	149	0,01	227,23	1100	452	27,95	5,29	60	1,7	152,9	142,12	84,99	Esm. Da biela	1,80
	12	80	154	125	149	0,0044	100,96	1100	451	30,78	3,89	60	0,7	92	64,03	96,57	Esc. das armaduras	1,44
	13	110	154,7	123	149	0,0099	228,20	1100	452	27,54	5,04	60	1,7	111,7	103,80	74,34	Esm. Da biela	1,50
	14	110	153,5	125	149	0,0044	100,63	1100	451	29,57	4,24	60	0,7	68,3	46,42	81,14	Esc. das armaduras	1,47
	15	110	152,5	126	150	0,0044	100,65	1100	451	31,59	3,92	60	0,7	67,2	46,80	87,14	Esc. das armaduras	1,44
	16	110	154,5	123,5	149,5	0,0098	226,36	1100	452	30,54	4,24	60	1,7	114,3	103,38	82,84	Esm. Da biela	1,38
	18	89	154	124,5	150,5	0,0098	227,13	1100	452	26,41	4,98	60	1	119	129,25	79,30	Esm. Da biela	1,50
	20	110	153	123,5	149,5	0,0099	226,45	1100	452	31,27	5,43	60	1,8	126	103,42	83,99	Esm. Da biela	1,50
	21	110	156	122	148	0,0098	226,26	1100	452	29,27	4,73	60	1,5	118	102,08	78,71	Esm. Da biela	1,50
	22	110	153	123	149	0,0069	157,30	1100	454	29,27	4,73	60	1,5	108,5	71,87	78,15	Esc. das armaduras	1,51
	23	110	153	122,5	148,5	0,01	227,21	1100	452	27,38	5,12	60	2	126,5	102,93	72,66	Esm. Da biela	1,74
	24	80	153	124	150	0,0069	158,36	1100	454	27,38	5,12	60	2	131,5	100,29	84,44	Esm. Da biela	1,56
	27	80	153,5	123,5	149,5	0,0099	227,19	1100	452	34,26	6,29	60	2,5	171,5	142,67	105,43	Esm. Da biela	1,63
	29	75	151,5	122,5	148,5	0,0045	101,24	1100	451	30,21	4,42	60	1	100	67,12	92,71	Esc. das armaduras	1,49
	30	120	153,9	120,2	146,2	0,007	157,50	1100	454	30,21	4,42	60	1	86,5	64,46	74,84	Esc. das armaduras	1,34
	32	120	154	120,2	146,2	0,0123	276,93	1100	452	32,89	5,5	60	2	132,5	112,84	81,53	Esm. Da biela	1,63
	38	110	152,2	124	150	0,0044	100,45	1100	451	32,08	5,72	60	2	74	45,96	86,24	Esc. das armaduras	1,61
	39	110	153,5	124	150	0,012	276,30	1100	452	31,35	5,64	60	2,3	144,5	126,70	85,00	Esm. Da biela	1,70
	46	75	154,5	92	146	0,0045	101,51	1100	451	28,19	5,64	60	1	74,5	50,54	59,39	Esc. das armaduras	1,47
	48	80	155,5	93,2	148,2	0,0068	156,71	1100	454	28,92	4,37	60	2	100	74,60	60,66	Esm. Da biela	1,65
	49	80	154,1	122,1	148,2	0,01	228,38	1100	452	30,46	5,16	60	2,5	164,5	141,79	92,67	Esm. Da biela	1,78

Fonte: Autor (2022).

Tabela A.1 - Continuação: Banco de dados de consolos curtos com adição de fibras de aço.

Referência	Modelo	a (mm)	b (mm)	d (mm)	h (mm)	ρ	$A_{s,tir}$ (mm ²)	f_f (MPa)	f_y (MPa)	f_c (MPa)	f_t (MPa)	L_f/D_f	V_f (%)	V_{exp} (kN)	V_{R1} (kN)	V_{R2} (kN)	Critério de Ruptura	V_{exp}/V_R
Fattuhi (1994)	51	110	153,4	132,3	148,3	0,01	227,49	1100	451	31,27	5,81	60	2	130,5	111,06	93,23	Esm. Da biela	1,40
	55	75	153,7	135,3	149,3	0,0044	100,97	1100	451	29,89	4,06	60	1	104,5	73,93	105,85	Esc. das armaduras	1,41
	56	75	152,9	115,8	149,8	0,0044	100,78	1100	451	29,89	4,06	60	1	95,5	63,16	85,91	Esc. das armaduras	1,51
	57	80	152,2	135,1	150,1	0,0069	157,63	1100	451	31,43	5,92	60	2	138,5	108,05	107,98	Esm. Da biela	1,28
	58	80	152,8	113,3	148,3	0,0069	156,36	1100	451	31,43	5,92	60	2	121,5	89,88	85,62	Esm. Da biela	1,42
	60	110	152,8	112,6	148,6	0,0149	338,32	1100	451	29,32	5,37	60	2	142	140,57	68,36	Esm. Da biela	2,08
	61	60	152,6	95	149	0,0044	100,04	1100	451	29,4	4,82	60	1,5	98,5	64,30	69,78	Esc. das armaduras	1,53
	63	80	153	94	150	0,0068	156,06	1100	451	30,94	5,94	60	2,5	101,8	74,43	64,66	Esm. Da biela	1,57
	64	60	152,6	92,5	147,5	0,01	225,09	1100	451	30,94	5,94	60	2,5	170	140,85	70,86	Esm. Da biela	2,40
	75	75	154,3	125,9	149,9	0,0044	101,77	1100	451	25,11	4,05	60	1	94,8	69,34	81,35	Esc. das armaduras	1,37
	76	75	154,5	94,8	148,8	0,0044	101,15	1100	451	25,11	4,05	60	1	73,5	51,90	55,25	Esc. das armaduras	1,42
	77	110	153,1	122,3	148,3	0,01	227,05	1100	451	26,89	4,96	60	1,5	114,5	102,46	71,23	Esm. Da biela	1,61
	80	110	154	122,1	148,1	0,01	228,07	1100	451	27,38	5,26	60	1,5	120,8	102,76	72,77	Esm. Da biela	1,66
	85	110	154,2	112,5	148,5	0,0099	226,70	1100	451	28,43	4,96	60	2	123,3	94,11	66,80	Esm. Da biela	1,85
	87	60	152,9	93,5	148,5	0,0069	156,67	1100	451	29,32	6,01	60	2,5	139,8	99,10	68,26	Esm. Da biela	2,05
	88	80	153,1	93,1	149,1	0,01	228,27	1100	451	29,32	6,01	60	2,5	138,8	107,83	60,45	Esm. Da biela	2,30
Gulsan (2015)	50-0-10-100	102,5	150	125	150	0,0086	193,50	1200	560	39	3,1	60	0	65,91	118,93	108,11	Esm. Da biela	0,61
	50-0-12-100	101,25	150	125	150	0,0122	274,50	1200	510	38,5	3,1	60	0	68,06	155,55	107,31	Esm. Da biela	0,63
	50-1-10-100	103,75	150	125	150	0,007	157,50	1200	560	40	3,7	60	1	110,58	95,64	110,27	Esc. das armaduras	1,16
	50-1-12-100	102,5	150	125	150	0,0101	227,25	1200	510	38	3,7	60	1	121,78	127,20	105,34	Esm. Da biela	1,16
	50-1,5-10-100	101,25	150	125	150	0,007	157,50	1200	560	42,5	3,6	60	1,5	125,13	98,00	118,46	Esc. das armaduras	1,28
	50-1,5-12-100	101,25	150	125	150	0,0101	227,25	1200	510	42,5	4,2	60	1,5	127,54	128,78	118,46	Esm. Da biela	1,08
	30-0-10-100	101,25	150	125	150	0,0085	191,25	1200	560	22,3	1,9	60	0	57,22	119,00	62,16	Esm. Da biela	0,92
	30-0-12-100	101,25	150	125	150	0,0122	274,50	1200	510	22,3	2	60	0	63,53	155,55	62,16	Esm. Da biela	1,02
	30-1-10-100	101,25	150	125	150	0,007	157,50	1200	560	22,3	2,5	60	1	71	98,00	62,16	Esm. Da biela	1,14
	30-1-12-100	101,25	150	125	150	0,0101	227,25	1200	510	22,3	2,3	60	1	73,39	128,78	62,16	Esm. Da biela	1,18
	30-1,5-10-100	102,5	150	125	150	0,007	157,50	1200	560	25,5	3,1	60	1,5	79,66	96,80	70,69	Esm. Da biela	1,13
	30-1,5-12-100	98,75	150	125	150	0,0101	227,25	1200	510	25,5	3,1	60	1,5	87,01	132,04	71,87	Esm. Da biela	1,21

Fonte: Autor (2022).