



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**MÉTODO DE ENSAIO EXPERIMENTAL DE BLOCOS DE FUNDAÇÃO EM
CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO – ESTUDO DE CASO**

EDSON SILVA SOUSA JUNIOR

ELLISON EMANUEL FERNANDES CÂMARA MARTINS

**Belém - PA
Setembro/2022**

EDSON SILVA SOUSA JUNIOR
ELLISON EMANUEL FERNANDES CÂMARA MARTINS

**MÉTODO DE ENSAIO EXPERIMENTAL DE BLOCOS DE
FUNDAÇÃO EM CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE
AÇO – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Bernardo N. Moraes Neto

Belém - PA
Setembro/2022

EDSON SILVA SOUSA JUNIOR

ELLISON EMANUEL FERNANDES CÂMARA MARTINS

**MÉTODO DE ENSAIO EXPERIMENTAL DE BLOCOS
DE FUNDAÇÃO EM CONCRETO REFORÇADO COM
FIBRAS DE AÇO – ESTUDO DE CASO**

Belém, 06 de setembro de 2022

Prof. Bernardo N. Moraes Neto
Dr. pela UNB
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Alcebíades Negrão Macedo
Dr. pela USP

Eng^a. Civil Gisele Rodrigues de Araújo
Mestrando da UFPA

Eng. Civil Rodrigo Castro dos Santos
Mestrando da UFPA

CONCEITO FINAL: E

RESUMO

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, “blocos são estruturas de volume usadas para transmitir às estacas as cargas de fundação”. Sabe-se que a escolha do tipo de fundação de uma construção, baseia-se exclusivamente nos parâmetros técnicos e econômicos, que impreterivelmente são estudados pelo engenheiro a cargo do projeto. E sabendo-se que na região de Belém, devido a questões geotécnicas, o uso de fundações profundas é corriqueiro, o uso de blocos de fundação faz-se presente de mesmo modo. A partir disto, nasce uma necessidade, juntamente com o que é observado fora do país, para o uso de fibras de aço em elementos estruturais de fundação, aja vista que com a possibilidade de uso parcial ou total das fibras de aço em detrimento das barras de aço das armaduras convencionais, poderia haver um ganho de tempo na execução desses elementos e por conseguinte, uma maior economicidade. Isto exposto, este trabalho visa descrever e comentar os resultados da execução do ensaio experimental de 6 blocos de fundação – em escala real – com o objetivo de propalar a aplicabilidade de concreto reforçado com fibras de aço em elementos estruturais, neste caso, enfatizando os blocos de fundação.

Palavras-chave: blocos de fundação, fibras de aço, elementos de fundação, armadura convencional.

ABSTRACT

According to ABNT NBR 6118:2014, “blocks are volume structures used to transmit loads to foundation piles”. The choice of the type of foundation for a construction is based exclusively on technical and economic parameters, which must be studied by the engineer in charge of the project. In Belém of Pará, due to geotechnical issues, the use of deep foundations is commonplace, the use of foundation blocks is present in the same way. From this, a need arises, together with what is observed outside the country, for the use of steel fibers in structural elements of foundation, considering that with the possibility of partial or total use of steel fibers in detriment of the steel bars of conventional reinforcement, there could be a gain in time in the execution of these elements and, therefore, greater economy. Having said that, this work aims to describe and comment on the results of the execution of the experimental test of 6 foundation blocks - in real scale - with the objective of promoting the applicability of concrete reinforced with steel fibers in structural elements, in this case, emphasizing the blocks of foundation.

Keywords: foundation blocks, steel fibers, foundation elements, conventional reinforcement.

1. INTRODUÇÃO

No esqueleto estrutural das edificações, os blocos de fundação desempenham um importante papel: o de transferir os esforços da superestrutura para o solo, onde deve ser amortizado o carregamento em suas camadas inferiores e mais resistivas, através de estacas e tubulões (Barros, 2013). Este elemento estrutural sofre de um dimensionamento denso de armadura de aço para pouca seção de concreto, implicando em altos custos para fabricação e demanda de insumos e tempo.

A dificuldade na execução desses elementos encontra-se no difícil adensamento do concreto em regiões de alta taxa de armadura, muitas vezes comprometendo a garantia do cobrimento da peça, essencial a sua durabilidade. A dobra e montagem das barras de demanda tempo e precisão para fluidez desta etapa da obra.

As fundações são divididas em duas categorias, Rasas e Profundas. Os Blocos são fundações de categoria rasa, que fazem uma transição das cargas para as fundações profundas denominadas estacas. Segundo a norma brasileira ABNT NBR 6118:2014: “Blocos são estruturas de volume usadas para transmitir às estacas e aos tubulões as cargas de fundação, podendo ser considerados rígidos ou flexíveis por critério análogo ao definido para sapatas.”, já a ABNT NBR 6122:2019, faz uma diferenciação entre “bloco” e “bloco de coroamento”, sendo bloco definido como “Elemento de fundação rasa de concreto ou outros materiais tais como alvenaria ou pedras, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo material, sem necessidade de armadura.”, e bloco de coroamento como “Bloco estrutural que transfere a carga dos pilares para os elementos da fundação profunda.”. Assim sendo, para efeitos normativos, toda vez que for mencionado “bloco” no texto, é referente ao Bloco de Coroamento da NBR 6122:2019. Aqui também, adota-se o termo reforço para referir-se a armadura de aço adotada no dimensionamento, anulando quaisquer alusões a reforço estrutural de peças com perda de capacidade resistiva devido ao uso.

Por estarem situados sob o solo, a observação do comportamento mecânico desses elementos é dificultada e pouco explorada *in loco*. Por este motivo, faz-se uso de modelos experimentais em escala reduzida ou real em ambiente controlado. Sendo possível a qualificação mecânica do reforço adotado e estudo de novas possibilidades, como é o caso dos estudos do uso de fibras de aço (CRFA – Concreto reforçado com fibra de aço) explorados por Bloodworth et al. (2003), Hailin et al. (2007), Ahmad et al. (2009), Souza et al. (2009), Zhang et al. (2009), Gao et al. (2011), Lei et al. (2011), Meléndez et al. (2019), Miguel-Tortola et al. (2019).

No que se refere as fibras de aço, podemos nos guiar a pela ABNT NBR 15530/2019 para a sua classificação. Esta norma tipifica as fibras – conforme sua geometria – em três tipos básicos: Tipo A - fibra de aço com ancoragens nas extremidades; Tipo C - fibra de aço corrugada; Tipo R - fibra de aço reta. Também há a divisão em classes, conforme o seu material de origem, e esta se dá em três classes: Classe I: fibra oriunda de arame trefilado a frio; Classe II: fibra oriunda de chapa laminada cortada a frio; Classe III: fibra oriunda de arame trefilado e escarificado.

O reforço com fibras de aço pode vir a facilitar a execução dos blocos de fundação ao substituir grande parte da armadura convencional, tornando esses elementos menos densos e com concretagem mais eficiente, desde que não haja perda mecânica no reforço estrutural. Por este motivo faz-se necessário estudos de predição da capacidade resistiva e do comportamento mecânico de peças CRFA, em especial blocos de fundação.

Este trabalho é um estudo de caso com o intuito de observar o comportamento mecânico de 6 blocos de concreto com variação no consumo de fibras entre si e retirada parcial ou total do reforço de aço convencional visando que outros trabalhos parecidos, próximos ou novos, possam espelhar-se e comparar resultados, pois atualmente nenhuma norma brasileira entra no mérito de ensaio de peças de blocos de concreto reforçado com fibra de aço em ambientes controlados.

Os resultados apontam para um ganho de rigidez com a substituição parcial da armadura convencional de distribuição e superior dos blocos, mantendo os tirantes sobre estacas. O aumento do consumo ou substituição total ainda não apresentam ganhos significativos.

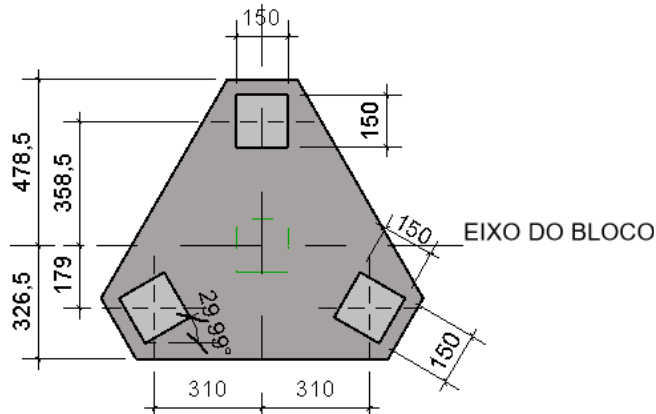
2. MATERIAIS E MÉTODOS

Serão ensaiados 6 blocos de concreto sobre 3 estacas em escala real. Sendo 3 reforçados com barras de aço convencional diferenciando entre si a posição do reforço adotado e 3 blocos reforçados com fibra de aço somente variando seu consumo em cada peça. O ensaio tem o intuito de qualificar o desempenho mecânico dos blocos e possibilitar a comparação da deformada entre os modelos, podendo avaliar as regiões onde a armadura convencional atende o esforço e se a substituição por fibras compensa em ganho da rigidez.

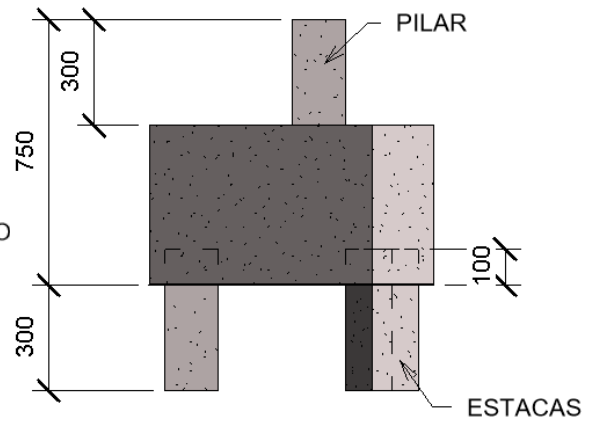
2.1 Geometria dos blocos de fundação

Os 6 blocos apresentam a mesma geometria e dimensões, como ilustrado na Figura 1. Todas as variáveis encontram-se na Tabela 1, sendo ID o identificador dos blocos, com CF indicando o consumo de fibras (CF00 = concreto sem fibras, CF45 = concreto com $C_f = 45,0 \text{ kg/m}^3$, CF60 = concreto com $C_f = 60,0 \text{ kg/m}^3$ e CF75 = concreto com $C_f = 75,0 \text{ kg/m}^3$) e RC indicando o tipo de reforço convencional (RCC = reforço convencional completo, ou seja, $A_{s,tir} = A_{s,fun} = A_{s,lat} = A_{s,top} \neq 0,0 \text{ mm}^2$, RCP = reforço convencional parcial, ou seja, $A_{s,tir} \neq 0,0 \text{ mm}^2$ e $A_{s,fun} = A_{s,lat} =$

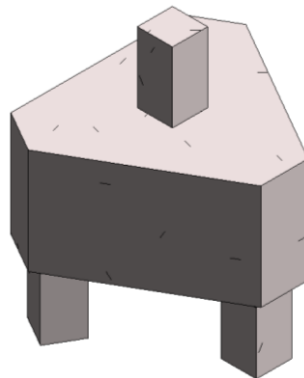
$A_{s,top} = 0,0 \text{ mm}^2$, e RC0 = inexistência de reforço convencional, ou seja, $A_{s,tir} = A_{s,fun} = A_{s,lat} = A_{s,top} = 0,0 \text{ mm}^2$). Além disso, temos: $A_{s,tir}$ = área total da armadura dos tirantes, $A_{s,fun}$ = área total da armadura uniformemente distribuída no fundo do bloco, $A_{s,lat}$ = área total da armadura uniformemente distribuída na lateral do bloco, $A_{s,top}$ = área total da armadura uniformemente distribuída no topo do bloco.



a) Dimensão das estacas (vista em planta no fundo)



b) Vista lateral do Bloco



c) Vista tridimensional do Bloco

Figura 1. Geometria dos blocos

Fonte: Autor

Tabela 1. Resumo das principais características dos blocos

IDENTIFICAÇÃO	f_{c,m} (MPa)	C_f (kg/m³)	A_{s,tir} (mm²)	A_{s,fun} (mm²)	A_{s,lat} (mm²)	A_{s,top} (mm²)
CF00RCC	30,00	-	603,19	374,07	187,03	374,07
CF00RCP	30,00	-	603,19	-	-	-
CF45RCP	30,00	45,00	603,19	-	-	-
CF60RCP	30,00	60,00	603,19	-	-	-
CF75RCP	30,00	75,00	603,19	-	-	-
CF60RC0	30,00	60,00	-	-	-	-

Fonte: Autor

2.2 Dosagem do concreto

Nessa investigação, adotaremos quatro tipos de concreto, o simples (sem fibra), e três possuindo fibras de aço, com C_f variando em 45, 60 e 75 kg/m³. A fibra utilizada será do tipo *Dramix® 3D 65/60 BG*, com l_f = comprimento da fibra = 60,0 mm, d_f = diâmetro da fibra = 0,9 mm e f_{tu} = resistência à tração = 1.160,0 MPa. Nesse cenário, o fator de forma das fibras será $l_f/d_f = 60,0/0,9 \approx 65$ mm/mm. Na Tabela 2 podemos identificar os materiais e suas quantidades por tipo de concreto.

Tabela 2. Materiais constituintes e dosagem dos concretos.

DESCRIÇÃO	TIPO	DOSAGEM (kg/m³)			
		CF00	CF45	CF60	CF75
CIMENTO	CP II E - 32	366,49	557,79	557,79	557,79
AREIA	MF = 2,12 / μ = 2,61 kg/dm ³	697,01	780,90	780,90	780,90
BRITA	BRITA 0 – DI _{MAX} = 12,5mm	1.021,87	892,46	892,46	892,46
ÁGUA	-	212,56	157,36	157,36	157,36
FIBRAS	Dramix® 3D 65/60 BG	-	45,00	60,00	75,00
ADITIVO	MC-PowerFlow 1180	1,11	6,33	6,33	6,33

Fonte: Autor

2.3 Reforços convencionais

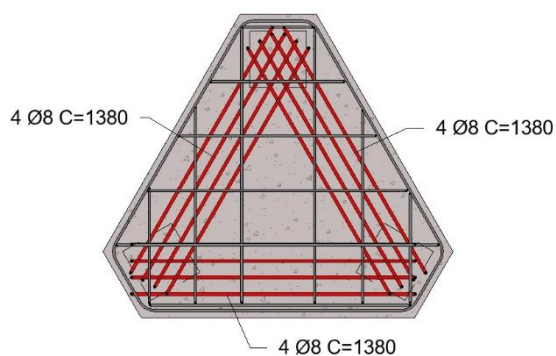
No que se refere ao reforço convencional, é de suma importância esclarecer as posições das armaduras de acordo com o código usado, sendo assim, a Tabela 3 relaciona a posição com o código usado.

Tabela 3. Classificação dos reforços.

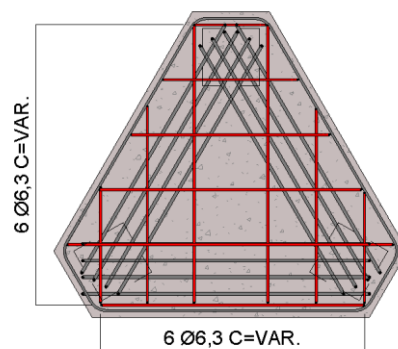
DESCRIÇÃO	LOCAL	SÍMBOLO
TIRANTE PRINCIPAL	AO FUNDO LIGANDO AS ESTACAS EM DIAGONAIS	$A_{s,tir}$
REFORÇO SECUNDÁRIO	AO FUNDO DE FORMA PERPENDICULAR ENTRE SÍ	$A_{s,fun}$
REFORÇO SECUNDÁRIO LATERAL	OBEDECE AO PERÍMETRO DA GEOMETRIA DO BLOCO	$A_{s,lat}$
REFORÇO SECUNDÁRIO TOPO	AO TOPO DE FORMA PERPENDICULAR ENTRE SÍ	$A_{s,top}$

Fonte: Autor

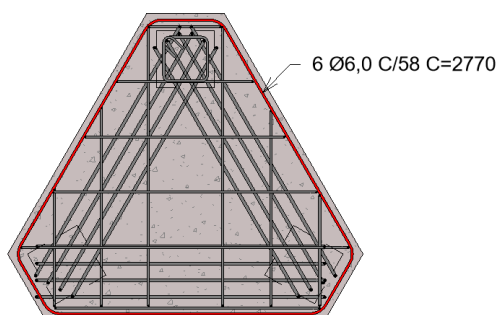
E para melhor compreender, a Figura 2 demonstra a distribuição do reforço convencional dos blocos de forma gráfica.



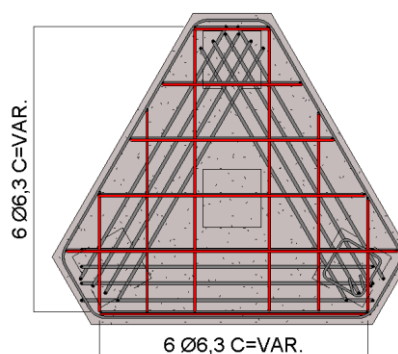
a) Tirante Principal ($A_{s,tir}$) - 3x4 ϕ 8,0mm



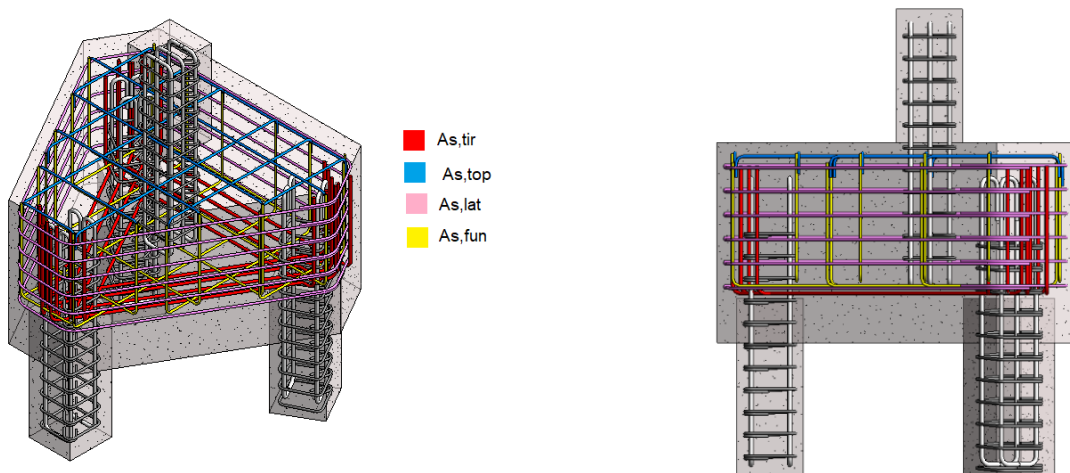
b) Reforço Secundário ($A_{s,fun}$) 2x6 ϕ 6,3mm



c) Reforço Secundário Lateral ($A_{s,lat}$) - 6 ϕ 6,0mm



d) Reforço Secundário Topo ($A_{s,top}$) - 2x6 ϕ 6,3mm



e) Esquema 3D do reforço convencional.

Figura 2. Reforços convencionais

Fonte: Autor

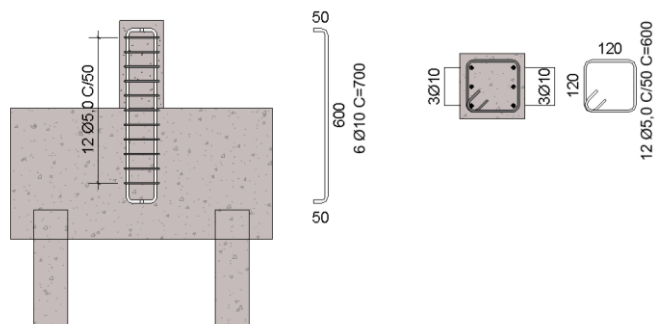


Figura 3. Reforço do pilar.

Fonte: Autor

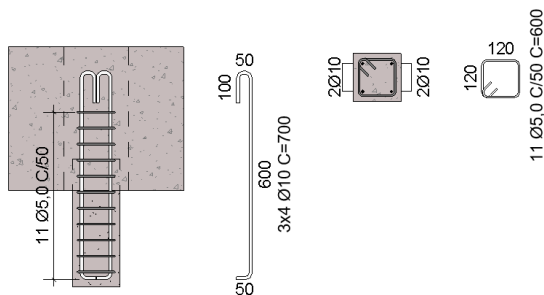


Figura 4 – Reforço das estacas.

Fonte: Autor

Juntamente da figura 2, foram mostrados os quantitativos das barras de aço através das notações como, por exemplo: $4\phi 8,0C = 1.380,00\text{mm}$. Onde lê-se 4 barras de espessura (ϕ) de 8,00mm, com comprimento (C) igual a 1.380,00mm. Quanto aos blocos de tipo RCP, duas barras auxiliares foram indicadas na coluna $A_{s,lat}$ sem função estrutural, apenas para auxiliar na

instalação do reforço do tirante principal ($A_{s,tir}$). Na Tabela 4, podemos ver os quantitativos de reforços dos blocos de forma resumida.

IDENTIFICAÇÃO	BARRAS DE REFOÇO			
	As,tir	As,fun	As,lat	As,top
CF00RCC	3x4Ø8,0C=1380 mm	2Ø6,3C=914 mm	6Ø6,3C=2777 mm	2Ø6,3C=434 mm
	3x4Ø8,0C=1300 mm	2Ø6,3C=1128 mm		2Ø6,3C=648 mm
		2Ø6,3C=1305 mm		2Ø6,3C=825 mm
		1Ø6,3C=728 mm		1Ø6,3C=248 mm
		1Ø6,3C=893 mm		1Ø6,3C=413 mm
		1Ø6,3C=1056 mm		1Ø6,3C=576 mm
		1Ø6,3C=1219 mm		1Ø6,3C=739 mm
		1Ø6,3C=1381 mm		1Ø6,3C=901 mm
		1Ø6,3C=1256 mm		1Ø6,3C=776 mm
CF00RCP	6Ø8,0C=1380 mm	-	2Ø6,3C=2777 mm ^(I)	-
	6Ø8,0C=1300 mm	-	-	-
CF45RCP	6Ø8,0C=1380 mm	-	2Ø6,3C=2777 mm ^(I)	-
	6Ø8,0C=1300 mm	-	-	-
CF60RCP	6Ø8,0C=1380 mm	-	2Ø6,3C=2777 mm ^(I)	-
	6Ø8,0C=1300 mm	-	-	-
CF75RCP	6Ø8,0C=1380 mm	-	2Ø6,3C=2777 mm ^(I)	-
	6Ø8,0C=1300 mm	-	-	-
CF60RC0	-	-	-	-
PESO TOTAL (por bloco) = 14,23 Kg	Ø8,0 = 12x 1,38 x 0,295 = 4,86 Kg	Ø6,3 = 13,95 x 0,245 = 3,42 Kg	P/ RCC Ø6,3 = 6 x 2,78 x 0,245 = 4,09 Kg	Ø6,3 = 7,467 x 0,245 = 1,83 Kg

(I) Barra auxiliar, sem função estrutural, instalada nos blocos RCP (reforço convencional parcial)

Tabela 4 – Relação de Barras de Aço por Função e Bloco

Fonte: Autor

2.4 Fibras de aço

No que tange ao reforço com fibras de aço, foram adotadas as fibras do tipo hooked-end, sendo classificadas pela norma como “Tipo A - Classe I”. Este mesmo tipo de fibra também serviu como base dos trabalhos de Li, B. et al. (2018), onde este tipo de elemento demonstrou melhor desempenho, não só em termos de resistência, mas também em ductibilidade/tenacidade.

Apesar dessa classificação não tipificar as fibras em função do desempenho, seja quanto à trabalhabilidade ou mesmo quanto à tenacidade, ao adotar esta classificação possibilita estabelecer requisitos mínimos que poderão ser correlacionados com o desempenho final do

CRFA. Procurou-se também cobrir a maioria, se não a totalidade, das fibras de aço disponibilizadas no mercado brasileiro (Antônio D. Figueiredo, 2008).

A capacidade resistiva das peças reforçadas com fibra tem relação direta com o fator forma das fibras e seu consumo em relação ao concreto, melhorando tenacidade e retardo na fissuração conforme mostram os estudos de Lu, Zang e Li (2007).



Figura 5. Fibra Hooked-end - Dramix® 3D 65/60 BG
Fonte: Catálogo de Fibras de Aço – ArcelorMittal

3. ENSAIO

O esquema de ensaio foi pensado de forma simples, contando com um pórtico de aço, uma prensa-hidráulica elétrica, um dispositivo Transdutor de Deslocamento Variável Linear (LVDT) para aferir a flexão na parte inferior do bloco e três discos de aço para as estacas, visando evitar possíveis interferências através de excentricidade. Esquemáticamente, a prensa localiza-se ao topo do pilar, imediatamente abaixo do pórtico, assim simulando a ação do peso da estrutura sob o bloco e estacas. Observar Figura 6.

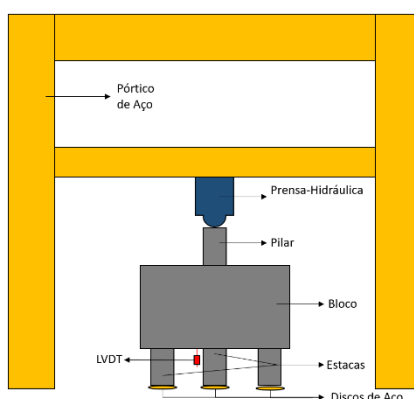
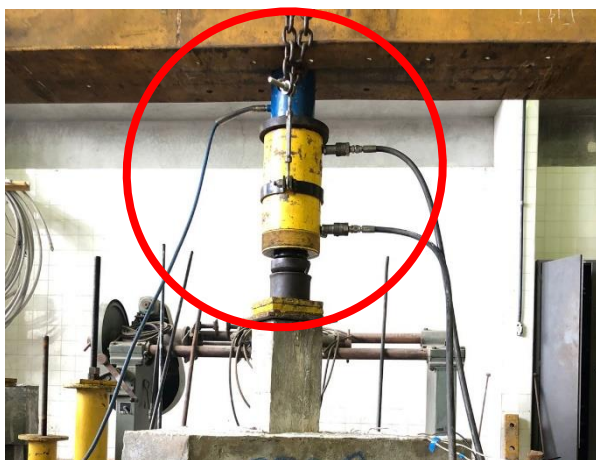


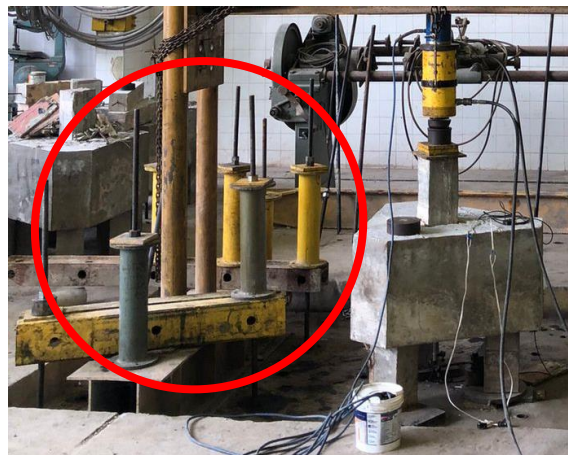
Figura 6. Esquema de ensaio (Figura sem Escala)
Fonte: Autor

Do previamente planejado, pouco saiu em diferença, tendo as maiores distâncias do planejado a necessidade de colocar apoios de aço para compensar a distância da prensa-hidráulica até o topo

do pilar e a precisão de reforçar os pés do pórtico a laje de reação pois os blocos ficaram mais resistentes do que foi previsto. Vide Figura 7.



a) Apoios para compensar o comprimento da prensa-hidráulica



b) Reforço do pórtico

Figura 7. Medidas para realização do Ensaio

Fonte: Autor

Durante o ensaio dos seis blocos, o esquema de ensaio ficou conforme a Figura 8. Já para o controle da aplicação de força da prensa-hidráulica elétrica e coleta dos dados dos extensômetros em um notebook, foi organizada uma mesa de controle que é exposta na Figura 9.



Figura 8. Sistema de reação para ensaio dos blocos.

Fonte: Autor



Figura 9. Mesa de Controle.

Fonte: Autor

Com tudo aferido, foram iniciados os ensaios, como exposto acima, os blocos ficaram mais resistentes do que calculado, contudo, não comprometeu o estudo e a análise de dados. Como podemos ver de acordo com as Figura 10 e Figura 11.



Figura 10. Pilares.

Fonte: Autor

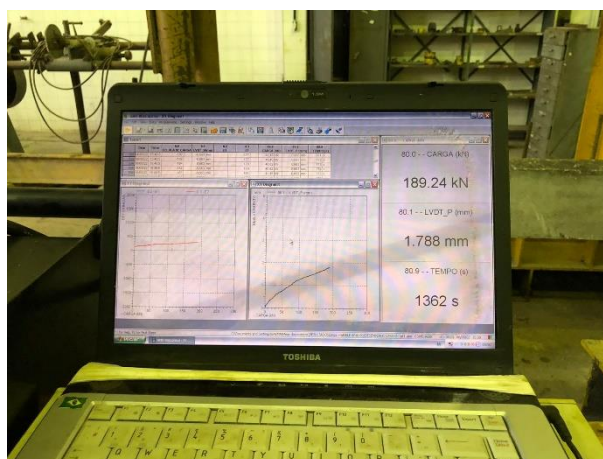


Figura 11. Gráfico de Tensão x Deslocamento plotado a partir do Ensaio.

Fonte: Autor

4. RESULTADOS

O produto escolhido para análise de resultados neste artigo foram os gráficos de Tensão x Deslocamento dos modelos. Adotou-se a base destes (15x15cm) como referência de área para o cálculo da tensão em MPa e usando o LVDT para o uso do deslocamento. Os extensômetros não foram considerados na plotagem dos gráficos pois seu resultado será abordado com mais detalhes em artigo futuro. Assim sendo, temos os seguintes gráficos:

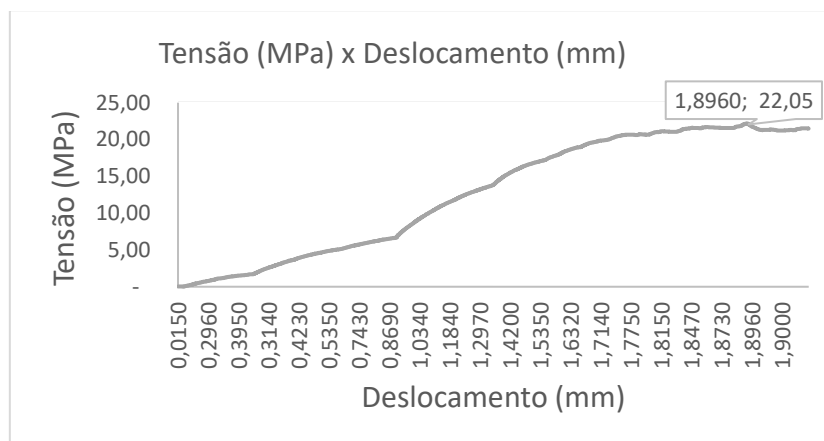


Figura 12. Gráfico de Tensão x Deslocamento: CF00RCC

Fonte: Autor

O modelo CF00, reforçado completamente com aço convencional é o bloco padrão e comporta-se como bloco rígido, com deslocamento de 1,896mm para uma tensão de compressão média máxima de 22,02 MPa.

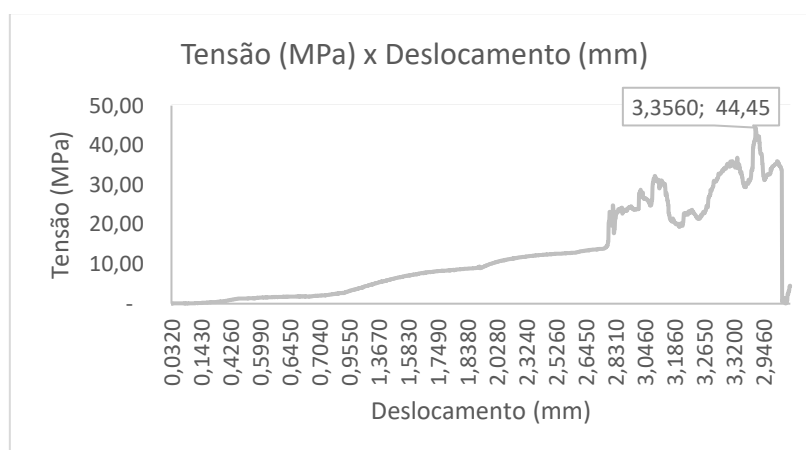


Figura 13. Gráfico de Tensão x Deslocamento: CF00 RCP

Fonte: Autor

Ao observar a deslocamento do modelo CF00-RCP, onde há a retirada total da malha de aço (As, fun) que compõe a região fora dos tirantes sobre as estacas (As,tir), nota-se a transferência total das tensões para o aço restante na fibra inferior, provocando um possível aumento no escoamento e conseqüente incremento na deslocamento de 77%. A carga máxima de ruptura do pilar observada foi de 808,43 kN. O ensaio desde bloco ocorreu com diversas interrupções que influenciaram nos dados obtidos, portanto aqui foram descartados por serem tão distantes dos demais geram distorção no rol.

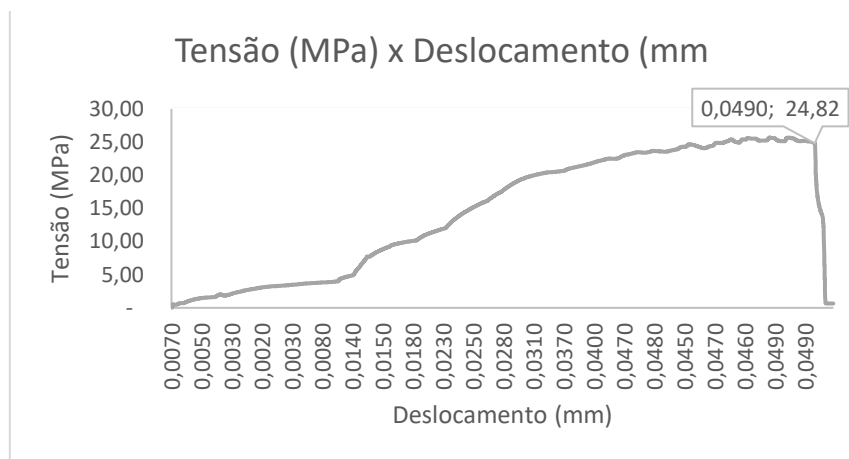


Figura 14. Gráfico de Tensão x Deslocamento: CF45

Fonte: Autor

O modelo CF45 ao substituir o reforço convencional superior (As,top) e da armadura de distribuição na base do bloco (As,fun) transfere o equilíbrio das tensões da fibra inferior da peça toda para os tirantes sobre estacas. As fibras aqui atuam dificultando a abertura de fissuras na fibra superior e inferior com ganho de rigidez visto a baixa deslocamento com aumento de tensão. Este modelo apresentou uma redução de 2,6% em relação ao CF00 RCC.

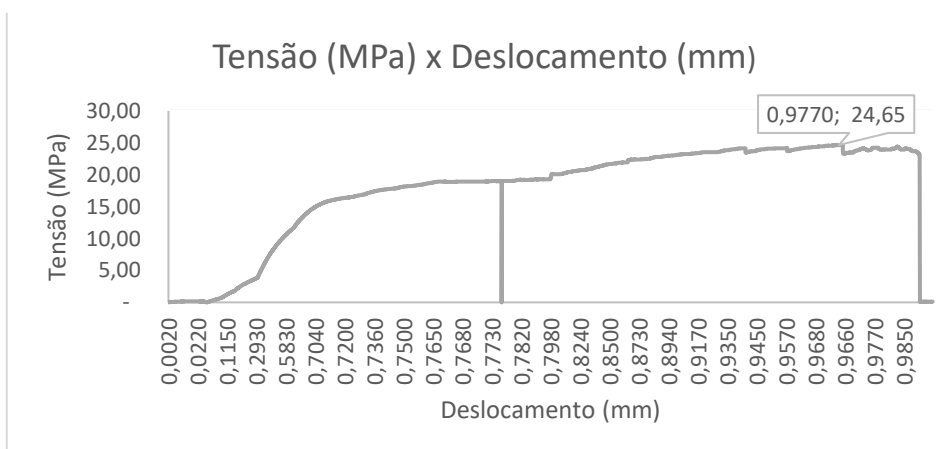


Figura 15. Gráfico de Tensão x Deslocamento: CF60

Fonte: Autor

Aumentando o consumo de fibras no modelo CF60 e mantendo armadura parcial sobre as estacas observamos aumento de rigidez. O deslocamento ultrapassa do modelo com armadura convencional completa, notando-se redução de 48% no deslocamento em relação ao CF00.

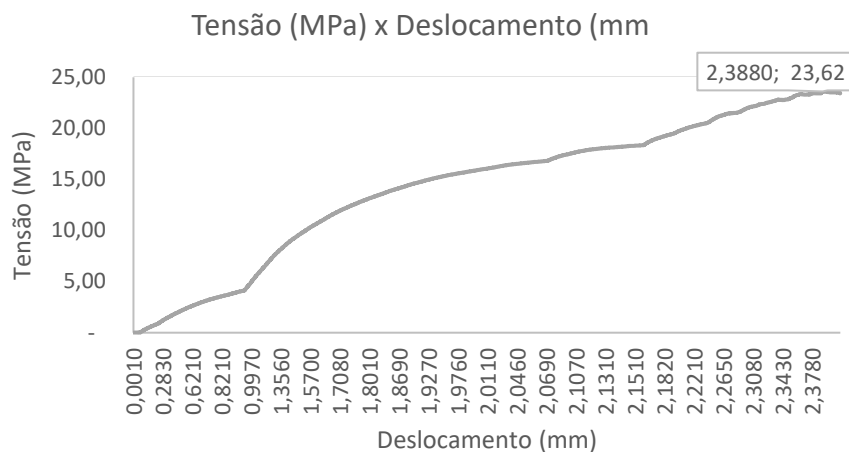


Figura 16. Gráfico de Tensão x Deslocamento: CF75

Fonte: Autor

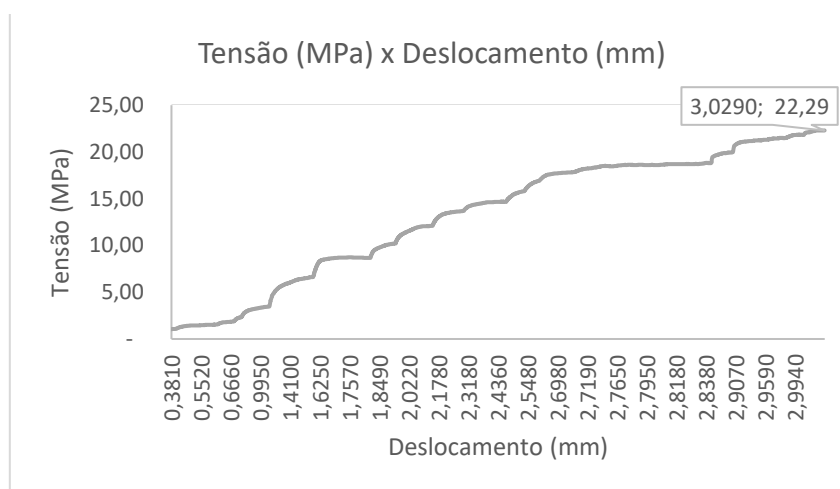


Figura 17. Gráfico de Tensão x Deslocamento: CF60 RC0

Fonte: Autor

As figuras 16 e 17 mostram o comportamento com incremento de 25% no consumo de fibras e retirada parcial e total do reforço convencional provoca aumento do deslocamento de 60% em relação ao bloco padrão. Indicando que o reforço convencional sobre as estacas ainda resiste melhor a tensões da fibra inferior do bloco.

5. CONCLUSÃO

Uma breve análise do comportamento mecânico dos modelos aqui propostos nos mostra que deve haver um consumo otimizado de fibras mantendo reforço convencional sobre as estacas visto que nos modelos onde houve substituição total de $A_{s,tir}$ houve também aumento notável do deslocamento, como observado no modelo CF75 RCP. O aumento gradual do consumo de fibras associado a retirada da armadura superior e manutenção do reforço sobre estacas mostrou-se equiparável ao modelo padrão RCC em termos de deslocamento. Aqui deve-se notar o ponto de equilíbrio na substituição.

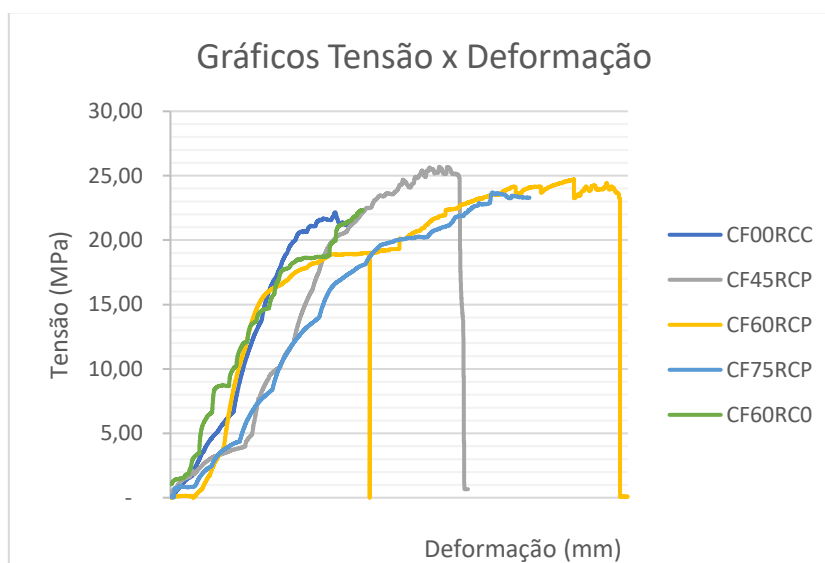


Figura 18. Gráfico de Tensão x Deslocamento: sobreposição dos modelos

Fonte: Autor

Verificou-se que o modelo CF45 RCP cujo comportamento mecânico mostrou ganhos de rigidez associado a retirada de RCC. Adotado neste estudo com o consumo ideal analisando exclusivamente a redução do deslocamento, visto que os modelos posteriores a ele com aumento de fibra apresentação perda da rigidez. Este modelo retira 3,42 Kg de aço referentes ao $A_{s,fun}$ e 1,83 Kg referentes ao $A_{s,top}$ totalizando 5,25 Kg que representam juntos cerca de 37% do peso total de aço deste mesmo bloco armado convencionalmente. (Ver tabela 4)

Mais uma vez reforça-se que o ganho com a substituição da RCC por fibras de aço não é exclusivamente sobre o peso de aço e seu custo, mas também sobre o tempo ganho na execução dos blocos, poupado na dobra da armação e sua montagem.

Para estudos posteriores fica o desafio de associar o consumo ótimo para cada geometria e seu esforço solicitante visando o ganho econômico e executivo de estruturas ainda tão utilizadas e

essenciais ao esqueleto estrutural das edificações. Assim como a influência das fibras na redução da abertura de fissuras neste tipo de peças.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT NBR 6118 (2014). *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT NBR 6120 (2019). *Ações para o cálculo de estruturas de edificações*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT NBR 15530 (2019). *Fibras de aço para concreto – Especificação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT NBR NM 67. (1998). *Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.

ACI 544.1R-96 (2002). *State-of-the-art report on fiber reinforced concrete*. Reported by ACI Committee 544, American Concrete Institute.

ACI 544.4R-88 (1999). *Design considerations for steel fiber reinforced concrete*. Reported by ACI Committee 544, American Concrete Institute.

AMIN, A.; FOSTER, S.J. (2016). *Shear strength of steel fibre reinforced concrete beams with stirrups*. Engineering Structures, Vol. 111, No. 15, pp. 323-332.

BARROS, J.A.O.; MORAES NETO, B.N.; MELO, G.S.S.A.; FRAZÃO, C.M.V. (2015). *Assessment of the effectiveness of steel fibre reinforcement for the punching resistance of flat slabs by experimental research and design approach*. Composites Part B: Engineering, Vol. 78, pp. 8-25.

BIRYUKOVICH, K.L.; YU, D.L. (1965). *Glass fiber reinforced cement*. CERA Translation No. 12, Civil Engineering Research Association, London.

DESTRÉE, X.; BISSEN, A.M.; BISSEN, LUXEMBOURG. (2009). *Steel-fibre-only reinforced concrete in free suspended elevated slabs*. Concrete Engineering International, Spring.

DESTRÉE, X.; MANDL, J. (2008). *Steel fibre only reinforced concrete in free suspended elevated slabs: Case studies, design assisted by testing route, comparison to the latest SFRC standard documents*. Tailor Made Concrete Structures – Walraven & Stoelhorst, Taylor & Francis Group, pp. 437-443, London.

DING, Y.; ZHANG, F.; TORGAL, F.; ZHANG, Y. (2012). *Shear behaviour of steel fibre reinforced selfconsolidating concrete beams based on the modified compression field theory*. Composite Structures, Vol. 94, Issue 8, pp. 2440-2449.

Fib Model Code 2010. (2012). Model Code 2010. Fédération Internationale du Béton, Final draft, Vol. 2, Bulletin 66, April.

Fib Model Code 2010. (2012). Model Code 2010. Fédération Internationale du Béton, Final draft, Vol. 2, Bulletin 65, March.

- GOMES, L. D. S. (2016). *Análise experimental da eficiência das fibras de aço no reforço ao cisalhamento de vigas em concreto armado*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.
- GOUVEIA, N.D.; FERNANDES, N.A.G.; FARIA, D.M.V.; RAMOS, A.M.P.; LÚCIO, V.J.G. (2017). *SFRC flat slabs punching behaviour – Experimental research*. Composites Part B: Engineering, Vol. 63, pp. 161-171.
- KWAK, Y.-K.; EBERHARD, M.O.; KIM, W.-S.; KIM, J. (2002). *Shear of steel fiber-reinforced concrete beams without stirrups*. ACI Structural Journal, Vol. 99, No. 4, pp. 530-538.
- MADAN, S.K.; KUMAR, G.R.; SINGH, S.P. (2007). *Steel fibers as replacement of web reinforcement RCC deep beams in shear*. Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), Vol. 8, No. 5, pp. 479-489.
- MORAES NETO, B.N.; BARROS, J.A.O.; MELO, G.S.S.A. (2013). *A model for the prediction of the punching resistance of steel fibre reinforced concrete slabs centrally loaded*. Construction and Building Materials, Vol. 46, pp. 211–223.
- MORAES NETO, B.N.; BARROS, J.A.O.; MELO, G.S.S.A. (2014). *Model to Simulate the Contribution of Fiber Reinforcement for the Punching Resistance of RC Slabs*. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 26, Issue 7.
- MOUSSA, Y.H. (2017). *Eficácia das fibras de aço no reforço à flexão de vigas em concreto armado com taxa de armadura mínima*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.
- RILEM TC 148-SSC. (1997). *Strain-softening of concrete in uniaxial compression*. Test methods for the strainsoftening response of concrete, Materials and Structures, Vol. 30, pp. 195-209, May.
- RILEM TC 148-SSC. (2000). *Test method for measurement of the strain-softening behaviour of concrete under uniaxial compression*. Strain softening of concrete - Test methods for compressive softening, Materials and Structures, Vol. 33, pp. 347-351, July.
- RILEM TC 162-TDF. (2002). *Bending test: Final recommendation*. Test and design methods for steel fibre reinforced concrete, Materials and Structures, Vol. 35, pp. 579-582, November.
- ROMUALDI, J.P.; BATSON, G.B. (1963). *Mechanics of Crack arrest in concrete*. Journal of the Engineering Mechanics Division, Vol. 89, Issue 3, pp. 147-168.
- ROMUALDI, J.P.; MANDEL, J.A. (1964). *Tensile strength of concrete affected by uniformly distributed closely spaced short lengths of wire reinforcement*. Journal Proceedings, Vol. 61, Issue 6, pp. 657-672.
- SHOAIB, A.; LUBELL, A.S.; BINDIGANAVILE, V.S. (2014). *Size Effect in Shear for Steel Fiber-Reinforced Concrete Members without Stirrups*. ACI Structural Journal, Vol. 111, Issue 5, pp. 1081-1090.
- BARROS, Rodrigo. *Análise numérica e experimental de blocos de concreto armado sobre duas estacas com cálice externo, parcialmente embutido e embutido utilizado na ligação pilar-fundação*. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.