



Avaliação da Influência das Armaduras Complementares no Desempenho e Capacidade Última de Blocos de Concreto Armado Sobre Duas Estacas

Marcio Ferreira Cardoso¹, Ricardo de Paula Randi², Leandro Mouta Trautwein³, Luiz Carlos de Almeida⁴

¹ Universidade Estadual de Campinas, FECFAU - Departamento de Estruturas, marcioferrica@gmail.com

² Universidade Estadual de Campinas, FECFAU, Departamento de Estruturas, ricardo_randi@hotmail.com

³ Universidade Estadual de Campinas, FECFAU - Departamento de Estruturas, leandromt@fec.unicamp.br

⁴ Universidade Estadual de Campinas – FECFAU, Departamento de Estruturas, almeida@fec.unicamp.br

Resumo

Este artigo analisa numericamente, por meio do método dos elementos finitos, o comportamento das armaduras complementares horizontais e transversais de blocos de concreto armado sobre duas estacas submetidos a cargas excêntricas. As modelagens numéricas não lineares tridimensionais, dos experimentos que forneceram os parâmetros para a calibração dos modelos, foram realizadas com o auxílio do programa computacional ATENA 3D. A partir da validação dos modelos numéricos foi realizada uma análise paramétrica variando a taxa e o espaçamento das armaduras complementares para avaliar o desempenho do bloco. Esta análise demonstrou que as armaduras complementares são eficientes no desempenho dos blocos, aumentando a capacidade portante.

Palavras-chave

Blocos sobre duas estacas; cargas excêntricas; análise não-linear; armaduras complementares em blocos de fundação.

Introdução

Blocos de fundações são elementos estruturais volumétricos cuja função é transferir os carregamentos provenientes da superestrutura para as estacas ou tubulões em casos nos quais as camadas superficiais do solo não apresentam capacidade portante suficiente para absorver os esforços. A ABNT NB6118:2023 classifica esses elementos estruturais em flexíveis ou rígidos sendo dimensionados, respectivamente, pela Teoria da Flexão e Método de Bielas e Tirantes de acordo com o comportamento apresentado em cada caso. Para os blocos flexíveis pode-se aplicar a teoria de Euler-Bernoulli no qual a hipótese de que as seções planas permanecem planas após as deformações é válida, sendo denominado de Região B. Os blocos rígidos não atendem a hipótese acima descrita, sendo neste caso denominado de Região D, apresentando descontinuidades geométrica e/ou estática.

O desenvolvimento do Método das Bielas e Tirantes data do início do século XX e a aplicação para blocos rígidos sobre estacas foi desenvolvido por Blévyot e Frémy (1967). Os autores realizaram ensaios experimentais em 116 blocos sobre duas, três, quatro, cinco ou seis estacas e a partir desses resultados definiram o comportamento mecânico desses elementos como uma treliça espacial idealizada e composta por barras tracionadas e comprimidas. As bielas de compressão são geometricamente definidas pelas fissuras inclinadas que se formam no bloco e transferem os carregamentos dos pilares às estacas, as tensões no concreto que formam as bielas são limitadas a valores definidos empiricamente pelos autores, sendo verificadas nos nós superior (pilar) e inferior (cabeça da estaca). A resultante das forças no nó inferior é utilizada para dimensionar as armaduras de tração do tirante, equilibrando o polígono de forças entre a força inclinada que chega à cabeça da estaca e a reação na mesma. Além das armaduras de tração, armaduras complementares verticais e horizontais em formato de estribos são dispostas nas faces dos blocos com o objetivo de controlar a fissuração.

Destaca-se que o método desenvolvido pelos autores é bastante difundido até os dias atuais sendo sustentado pelas pesquisas de diversos autores como Mautoni (1972), Taylor e Clarke (1976), Leonhardt e Monnig

(1978), Schlaich e Schafer (1987), Adebar, Kuchama e Cokkubs (1990) que, além de corroborarem para o comportamento acima descrito, propuseram em alguns casos o refinamento do método.

O modo de ruptura convencional em blocos rígidos é dado pelo esmagamento do concreto nos nós superior e ou inferior ou o escoamento do aço dos tirantes. É importante enfatizar que as armaduras complementares não participam do equilíbrio estático no interior dos blocos e, como consequência, não define diretamente um modo de ruptura de um ponto de vista da aplicação do Método das Bielas e Tirantes. Além disso, enfatiza-se que é escassa a pesquisa sobre a contribuição das armaduras complementares no comportamento de blocos, sendo grande parte das pesquisas direcionada a outros aspectos do comportamento como a presença de carregamentos excêntricos, a contribuição das armaduras dos pilares e as disposições executivas das armaduras dos tirantes.

Delalibera (2006) analisou experimentalmente e numericamente catorze blocos sobre duas estacas submetidos a carregamentos centrados e excêntricos com o objetivo de analisar o comportamento das bielas e a contribuição dos ganchos das armaduras principais, o autor concluiu que os ganchos da armadura principal não influenciam na resistência do bloco, que o fluxo de tensões principais de compressão solicita mais a parte interna das estacas, que a geometria do pilar influencia na rigidez do elemento e que o efeito da força excêntrica reduz a capacidade portante dos blocos. De um ponto de vista das armaduras dos pilares, Munhoz (2014) realizou doze ensaios experimentais e numéricos com a finalidade de observar a influência da geometria e taxa de armadura dos pilares na resistência dos blocos, a autora concluiu que seção dos pilares (quadrada ou retangular) influencia na formação de biela de compressão. Os resultados também demonstraram que as forças nas barras de armadura dos pilares diminuem ao longo do comprimento de ancoragem, mas são totalmente transferidas ao bloco a partir de certa profundidade da altura do bloco.

Com o desenvolvimento e evolução de métodos numéricos e computacionais houve um avanço significativo nas pesquisas com ênfase numérica. Butignol e Almeida (2013) realizaram simulações numéricas não lineares tridimensionais em blocos de concreto armado sobre duas estacas com a finalidade de comparar os resultados numéricos com os ensaios experimentais realizados por Delalibera (2006), sendo uma importante contribuição do autor a análise das condições de contorno que definem o apoio inferior das estacas, comprovando que a definição dessas condições influi de maneira significativa na rigidez dos modelos.

Randi et al. (2018) simulou numericamente os modelos experimentais propostos por Munhoz (2014) com a finalidade de avaliar a influência do comprimento de ancoragem das barras da armadura dos pilares no comportamento estrutural dos blocos. Através de análises paramétricas em modelos bidimensionais os autores concluíram que o comprimento de ancoragem das barras do pilar não interfere de maneira significativa o comportamento dos blocos para valores que ultrapassam a metade da altura do bloco. Luchesi et al. (2022) deu continuidade ao trabalho dos autores, expandindo as simulações para modelos tridimensionais, e verificando que a definição das condições de contorno é essencial para obter bons resultados nas simulações. Os autores ainda comprovaram que a implementação de interfaces entre estacas e blocos influencia de maneira positiva nos resultados comparativos com os experimentos e, além disso, que a presença das abas laterais dos blocos aumenta de maneira significativa a capacidade portante dos blocos, algo pouco convencional em ensaios experimentais devido à dificuldade em executá-los.

Em relação às armaduras complementares, Tortola et al. (2019) realizou ensaios em vinte e um blocos de quatro estacas com diferentes profundidades e disposições de armaduras para investigar o efeito da carga excêntrica na capacidade portante dos blocos e os resultados demonstraram que em casos de cargas excêntricas a capacidade é reduzida e o reforço secundário mostra-se eficaz para aumentar a carga última do bloco. Basha. A. et al. (2023) realizaram uma análise numérica e experimental em nove blocos apoiados sobre duas estacas explorando diferentes configurações de armaduras complementares (verticais e transversais) com o objetivo de avaliar a eficiência dessas disposições na contribuição ao cisalhamento dos blocos. O autor concluiu que as barras laterais e transversais aumentam a resistência do bloco quando submetido a cargas centradas, retardando a formação de fissuras, e os blocos com menores taxas de armaduras apresentaram capacidade portante menor.

Justificativa

Nos últimos anos as pesquisas experimentais e numéricas sobre o método de bielas e tirantes aplicado a blocos de fundação avançaram significativamente. No entanto, ainda há uma lacuna na compreensão do comportamento desses blocos quando submetidos a cargas excêntricas, assim como na definição do papel das armaduras complementares que não participam diretamente do equilíbrio estático da biela. Diante disso,

este artigo busca investigar o comportamento de blocos de fundação sobre duas estacas submetidos à cargas excêntricas, analisando a influência das armaduras complementares verticais e horizontais.

Metodologia

Com o objetivo de analisar a influência das armaduras complementares nos blocos foram realizadas simulações numéricas baseadas em espécimes ensaiados por Delalibera (2006). Em uma etapa inicial os modelos foram calibrados a partir dos parâmetros indicados pelo autor citado com o objetivo de obter resultados que simulam de maneira satisfatória os experimentos.

Após a validação do modelo foi conduzida uma análise paramétrica variando a taxa de armaduras complementares em relação às armaduras principais. Foram testadas taxas de 10,00 % e 20,00 % da área da armadura do tirante em cada face do bloco, considerado em cada direção horizontal e vertical. O objetivo foi avaliar o ganho de resistência que o acréscimo dessas armaduras proporciona aos blocos sobre duas estacas quando submetidos a cargas excêntricas.

Calibração dos modelos numéricos

Os modelos numéricos são baseados nos espécimes B45P25E25e0 e B45P25E25e5, ensaiados por Delalibera (8), sendo: (B) a altura do bloco, (P) o lado do pilar, (E) o lado da estaca e (e) a excentricidade; com e0 representando carga sem excentricidade e e5 carga com 5,00 cm de excentricidade. Segundo o autor, as resistências à compressão do concreto entre as estacas/pilar e blocos eram diferentes, sendo determinadas a partir da média de três ensaios de corpo de prova cilíndricos de dimensões (10,00 x 20,00 cm) e (15,00 x 30,00 cm), conforme as recomendações normativas vigentes à época. O aço das armaduras foi submetido a ensaios de tração simples e a resistência foi determinada a partir da média de três corpos de prova. Na Tabela 1 estão apresentadas as propriedades mecânicas dos materiais para os espécimes B45P25E25e0 e B45P25E25e5.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas dos materiais.

	Concreto			Aços			
	f _c (MPa)	f _t (MPa)	E _c (MPa)	Diâmetro (mm)	f _{ys} (MPa)	ε _{ys} (‰)	f _u (MPa)
Bloco	31,0	2,9	27490,0	5,0	681,0	4,05	755,0
				6,3	597,0	2,99	733,0
				8,0	581,0	2,91	674,0
				10,0	549,0	2,75	658,0
Estaca/Pilar	55,0	3,0	30937,0	12,5	578,0	2,89	740,0
				16,0	550,0	2,75	719,0

Os espécimes foram ensaiados até a ruptura com o auxílio de um macaco hidráulico de capacidade de 5000,00 kN e curso máximo de 160,00 mm aplicadas no topo do pilar. Com o objetivo de mensurar a intensidade das forças aplicadas foram instaladas três células de cargas, sendo uma com capacidade de 5000,00 kN no topo do pilar e duas com capacidade de 2000,00 kN na base das estacas. Além disso, transdutores de deslocamento foram posicionados em vários locais; contudo, para a análise apresentada neste artigo o monitoramento no meio do vão (T1) na direção vertical foi considerado o mais relevante.

De acordo com Delalibera (2006) os espécimes foram projetados pelo o Método de Biela e Tirantes, conforme sugerido por Blévy e Frémy (1967). Para as armaduras complementares, o autor utilizou as recomendações do Boletim nº 73 do CEB (1970). Os espécimes foram armados com as mesmas quantidades e disposição de armaduras, sendo: 14 ϕ 12,5 mm para os pilares, 4 ϕ 12,5 para as estacas, 5 ϕ 20,0 para os tirantes, 3 ϕ 8,0 para as armaduras superiores, ϕ 5,0c/30cm para os estribos verticais e 1 ϕ 5,0 para os estribos horizontais.

Os ensaios realizados por Delalibera (2006) apresentaram o mesmo comportamento de ruína, ou seja, ruptura do concreto na biela comprimida junto ao pilar e/ou junto à estaca. As cargas de ruptura dos espécimes B45P25E25e0 e B45P25E25e5 foram respectivamente de 2276,00 kN e 1972,00 kN com ângulo de inclinação das bielas de 54,50° para ambos. As aberturas de fissura no centro do bloco foram medidas em 0,50 mm e 0,38 mm e os deslocamentos máximos dos modelos foram de 2,63 mm e 3,27 mm.

Nas Figuras 1 e 2 estão apresentados os desenhos de forma e a armação esquemática dos espécimes B45P25E25e0 e B45P25E25e5.

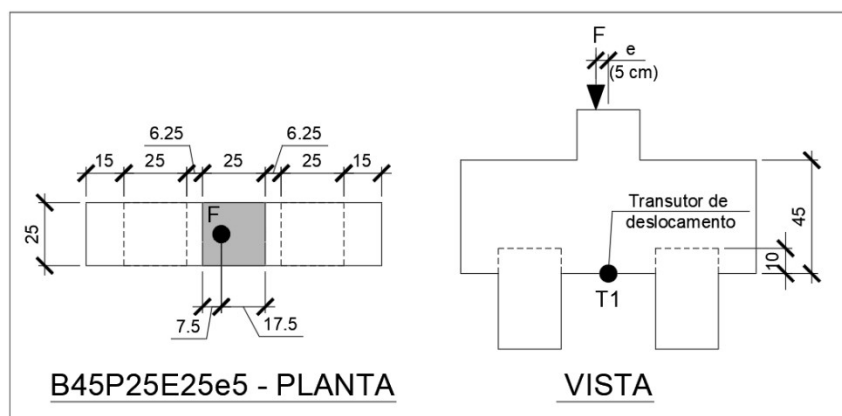


Figura 1 – Geometria dos blocos.

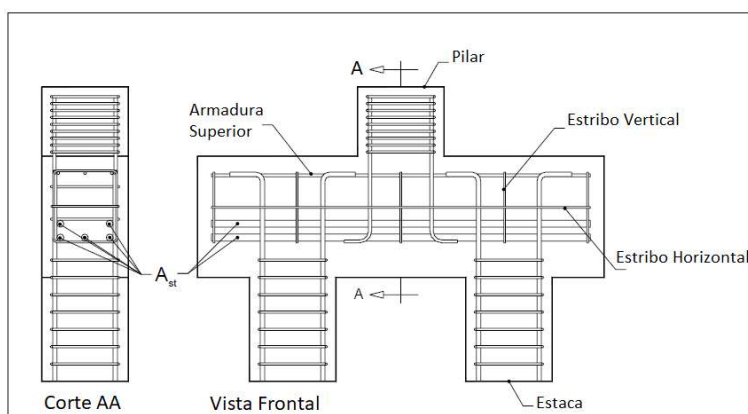


Figura 2 – Geometria e disposição geral das armaduras. Fonte: Delalibera (2006).

Dois modelos numéricos foram simulados com base nas propriedades e nos resultados descritos, nomeados B45P25E25e0N e B45P25E25e5N (N – numérico). A análise numérica baseada em espécimes experimentais busca representar com precisão suas propriedades físicas e geométricas, visando desenvolver um modelo numérico cujo comportamento se aproxime ao máximo do espécime de referência.

A calibração dos modelos numéricos foi realizada com o auxílio das ferramentas computacionais GID 16.01.1 e ATENA 3D versão 5.9.1 distribuído pela empresa Cervenka Consulting. O GID 16.01.1 foi empregado na etapa de pré-processamento, permitindo a modelagem da geometria do bloco, a geração da malha de elementos finitos, a definição das condições de contorno e a especificação dos modelos constitutivos dos materiais. O ATENA 3D foi utilizado no processamento e pós-processamento, possibilitando a realização de análises não lineares com base nos conceitos da Mecânica da Fratura.

Para a simulação do concreto foi utilizado o modelo constitutivo *CC3DNonLinearCementitious2*, sendo um modelo de fratura plástica denominado *Fracture – Plastic Constitutive Model*, descrito em Cervenka (2018). Este modelo permite a simulação de fenômenos associados ao comportamento do concreto como a plastificação em compressão e a fratura em tração. Para a modelagem das armaduras incorporadas ao concreto utilizou-se o modelo constitutivo *CCReinforcement* considerando tensão uniaxial conforme a Lei de Hooke na fase elástica e na plasticidade o critério de Von Mises.

Chapas metálicas de espessura 2,00 cm foram dispostas no topo do pilar e na base das estacas com o objetivo de auxiliar a distribuição de tensões nesses pontos. Para a modelagem das chapas foi adotado o modelo *CC3DElastIsotropic* sendo um material elástico isotrópico com módulo de elasticidade de 210,00 GPa e coeficiente de Poisson de 0,3.

Elementos de interface foram implementados com o objetivo de simular o contato entre diferentes materiais (concreto/aço). O modelo constitutivo desses elementos é baseado no critério de Mohr-Coulomb, considerando tensão máxima de tração (f_t), coesão (c) e atrito (ϕ). Os parâmetros de rigidez normal (K_{nn}) e de rigidez transversal (K_{tt}) determinam as deformações e deslocamentos que ocorrem nos elementos de interface.

Na Figura 3 está apresentado o modelo com a discretização das malhas de elementos finitos e as condições de contorno. As cargas verticais aplicadas ao modelo foram implementadas por meio de deslocamentos na face da chapa superior com magnitude de 35,00 mm e divididos em 250 passos a fim de obter um maior refinamento em cada etapa da aplicação da carga.

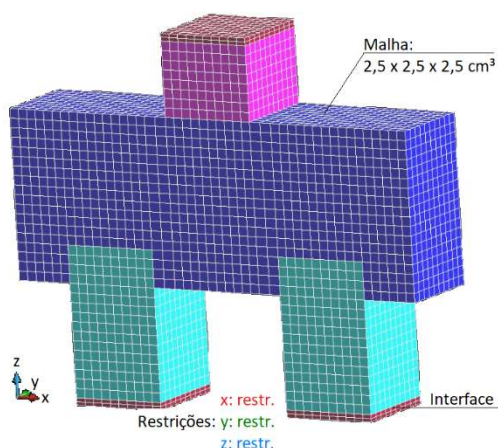


Figura 3 – Modelo numérico simulado no programa computacional ATENA 3D.

Durante as análises verificou-se que os modelos sem a implementação dos elementos de interface entre os diferentes materiais resultaram em modelos consideravelmente mais rígidos. Com isto, os critérios para a definição dos parâmetros de interface indicados por Luchesi (2022) foram aplicados nas simulações, melhorando consideravelmente os resultados das cargas de ruptura e dos deslocamentos. Na Tabela 2 estão apresentadas as propriedades mecânicas das interfaces.

Tabela 2 – Propriedade mecânica dos elementos de interface entre estaca e chapa metálica de apoio.

Modelos	K_{nn} (MN/m ³)	K_{tt} (MN/m ³)	Coesão (MPa)	Fricção	f_t (MPa)	$K_{nn,min}$ (MN/m ³)	$K_{tt,min}$ (MN/m ³)
B45P25E24e0	20000,0	20000,0	1,0	0,3	0,5	20,0	20,0
B45P25E24e5	12000,0	20000,0	1,0	0,3	0,5	12,0	20,0

Para a simulação do concreto foram utilizadas as propriedades apresentadas na Tabela 1 (resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade) obtidas através de ensaios realizados por Delalibera (2006). As demais propriedades mecânicas do concreto foram calculadas de acordo com o fib Model Code (2010). A energia de fratura foi definida em 142 N/m e 155 N/m respectivamente para os concretos de diferentes resistências. Além disso, o *fixed crack model* foi utilizado e o *aggregate interlock* foi habilitado com um diâmetro do agregado de 19,00 mm. As propriedades mecânicas dos aços estão descritas na Tabela 1. Na Figura 4 esta demonstrada a comparação das curvas carga *versus* deslocamentos entre os resultados experimentais e numéricos, dos blocos B45P25E25e0 (a) e B45P25E25e5 (b).

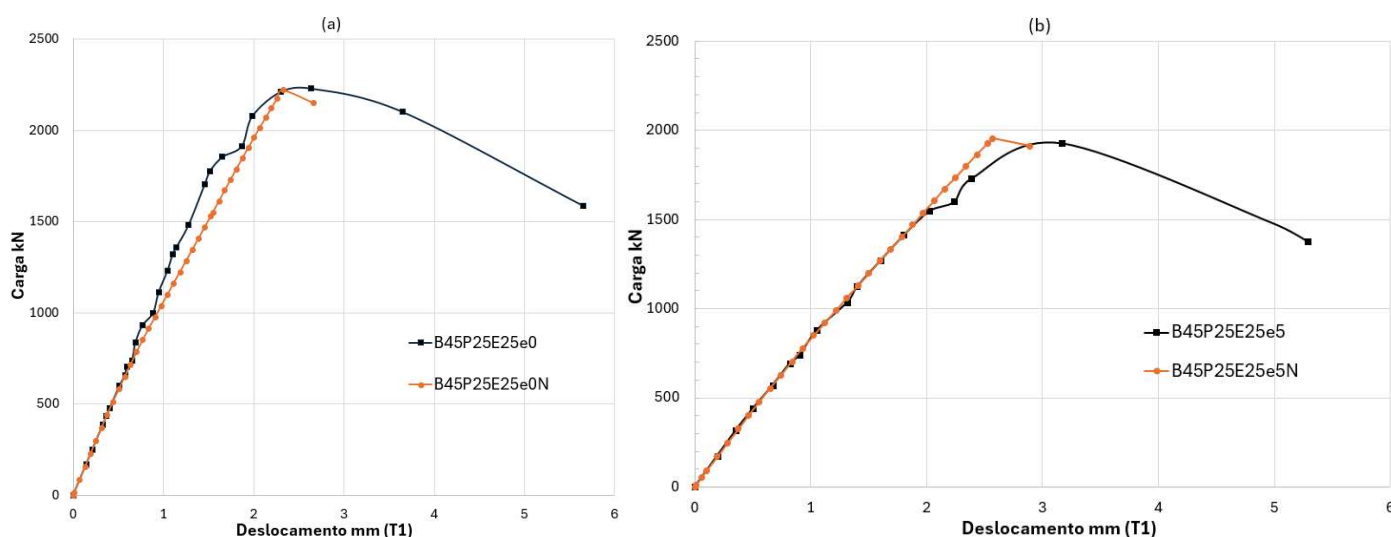


Figura 4 – Comparação das curvas de carga *versus* deslocamento para a calibração dos modelos B45P25E25e0 (a) – B45P25E25e5 (b).

Analisando os gráficos da Figura 4 verifica-se que o comportamento dos modelos simulados numericamente apresentou similaridade quando comparados aos experimentos. Os modelos B45P25E25e0N e B45P25E25e5N romperam respectivamente com cargas de 2220,00 kN e 1959,00 kN, apresentando diferenças de 2,50 % e 0,65 % em relação aos experimentos. Além disso, os deslocamentos máximos medidos no centro dos blocos apresentaram diferenças de 11,78 % (2,32 mm/2,63 mm) e 21,40 % (2,57 mm/3,27 mm). Finalmente, tanto para os casos experimentais quanto numéricos verifica-se redução da capacidade portante do bloco quando a excentricidade é aplicada, sendo reduzida em 13,36 % e 11,76 %, respectivamente.

Análise Paramétrica dos modelos numéricos

Com o objetivo de avaliar a influência das armaduras complementares dos blocos submetidos a cargas excêntricas uma análise paramétrica foi realizada variando a taxa de armaduras complementares em relação às armaduras principais. Os modelos B45P25E25e5N10 e B45P25E25e5N20 são equivalentes ao modelo B45P25E25e5N, mas com taxas de armaduras complementares calculadas como 10,00% e 20,00% da armadura do tirante. Os resultados discutidos são relativos às curvas carga *versus* deslocamento, fluxos de tensões, tensões nas armaduras complementares e panoramas de fissuração. Alguns resultados serão apresentados para dois passos de carga, sendo: Carga teórica (F_{teo}), sendo a carga no pilar a qual o tirante escoar e Carga última (F_u), sendo a carga última dos modelos numéricos. Destaca-se que para a Carga teórica não foram considerados coeficientes de segurança.

Na Figura 5 mostra as curvas carga *versus* deslocamento dos casos experimental, B45P25E25e5N, B45P25E25e5N10 e B45P25E25e5N20. A Tabela 3 apresenta os resultados da análise paramétrica onde: $\Delta_{fissura,teo}$ é magnitude da fissura máxima na região inferior do bloco relativa à força teórica, $\Delta_{fissura,u}$ é magnitude da fissura máxima na região inferior do bloco relativa à força última, δ_u é o deslocamento máximo vertical do bloco e $F_{u,i}/F_{u,CEB}$ é a razão entre as forças últimas dos modelos paramétricos em relação ao modelo com as armaduras complementares calculadas com o CEB (1970).

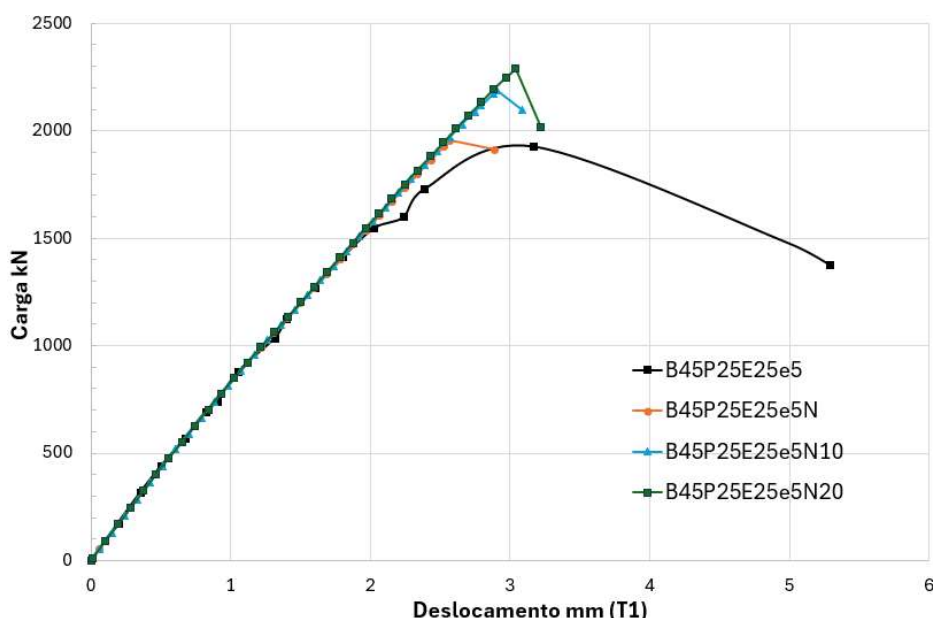


Figura 5 – Curva carga *versus* deslocamento para os modelos da análise paramétrica.

Tabela 3 – Resultado dos modelos da análise paramétrica.

Modelos	Armadura Complementar	F_{teo} (kN)	$\Delta_{fissura,teo}$ (mm)	F_u (kN)	$\Delta_{fissura,u}$ (mm)	δ_u (mm)	$F_{u,i}/F_{u,CEB}$ (%)
B45P25E24e5N	CEB	1550,0	0,204	1954,0	0,268	2,57	1,00
B45P25E24e5N10	10%.As	1550,0	0,393	2185,0	0,578	2,90	1,12
B45P25E24e5N20	20%.As	1550,0	0,383	2288,0	0,592	3,04	1,17

A Tabela 3 demonstra que os blocos com acréscimo de armadura secundária tiveram um ganho de resistência de 12% e 17% quando comparados com o modelo de referência, calculado de acordo com o CEB (1970).

As Figura 6, 7 e 8 mostram a armação dos blocos analisados parametricamente assim como os resultados dos fluxos de tensões, tensões nas armaduras e panoramas de fissuração.

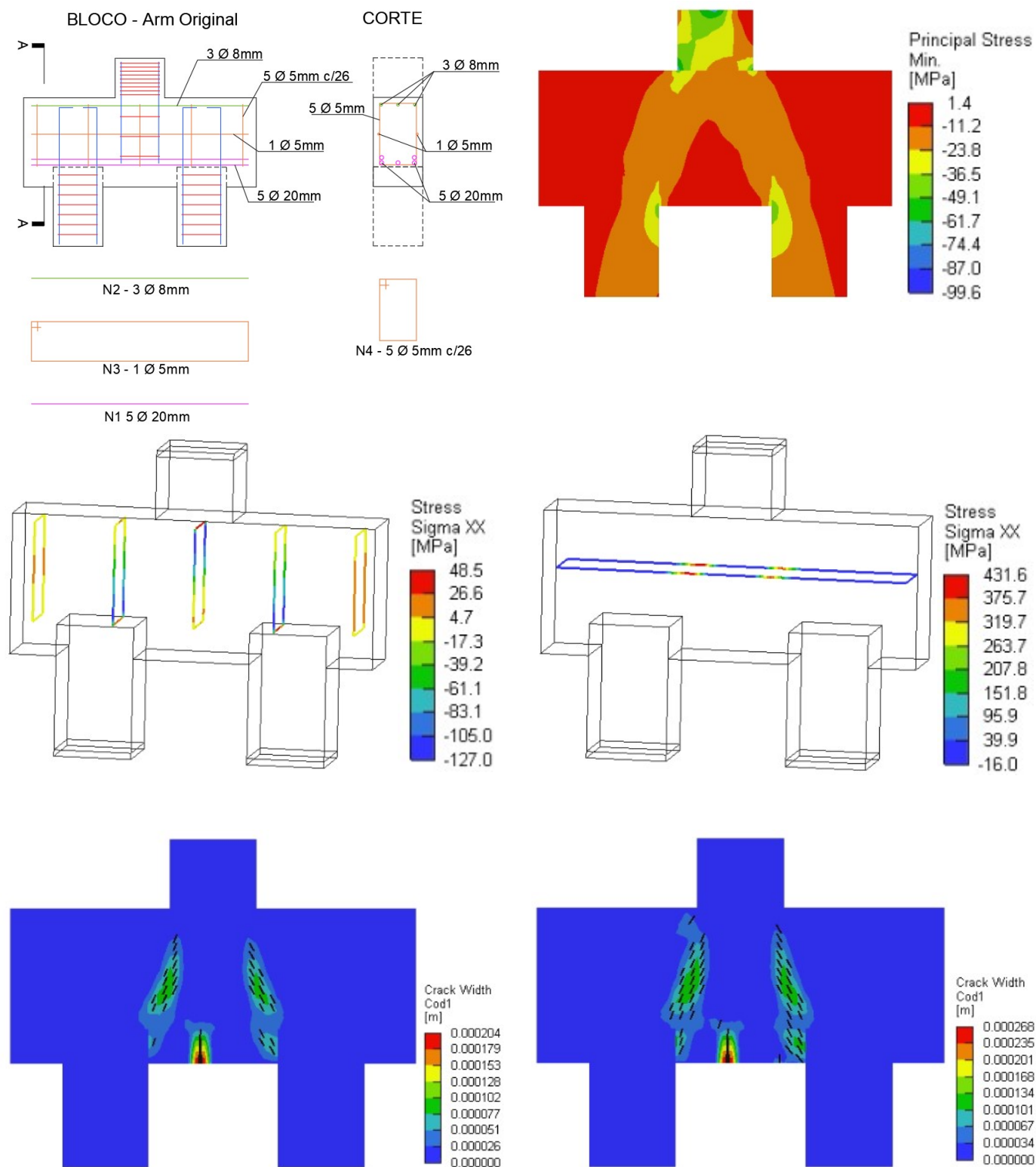


Figura 6 – Resultados do modelo B45P25E24e5N

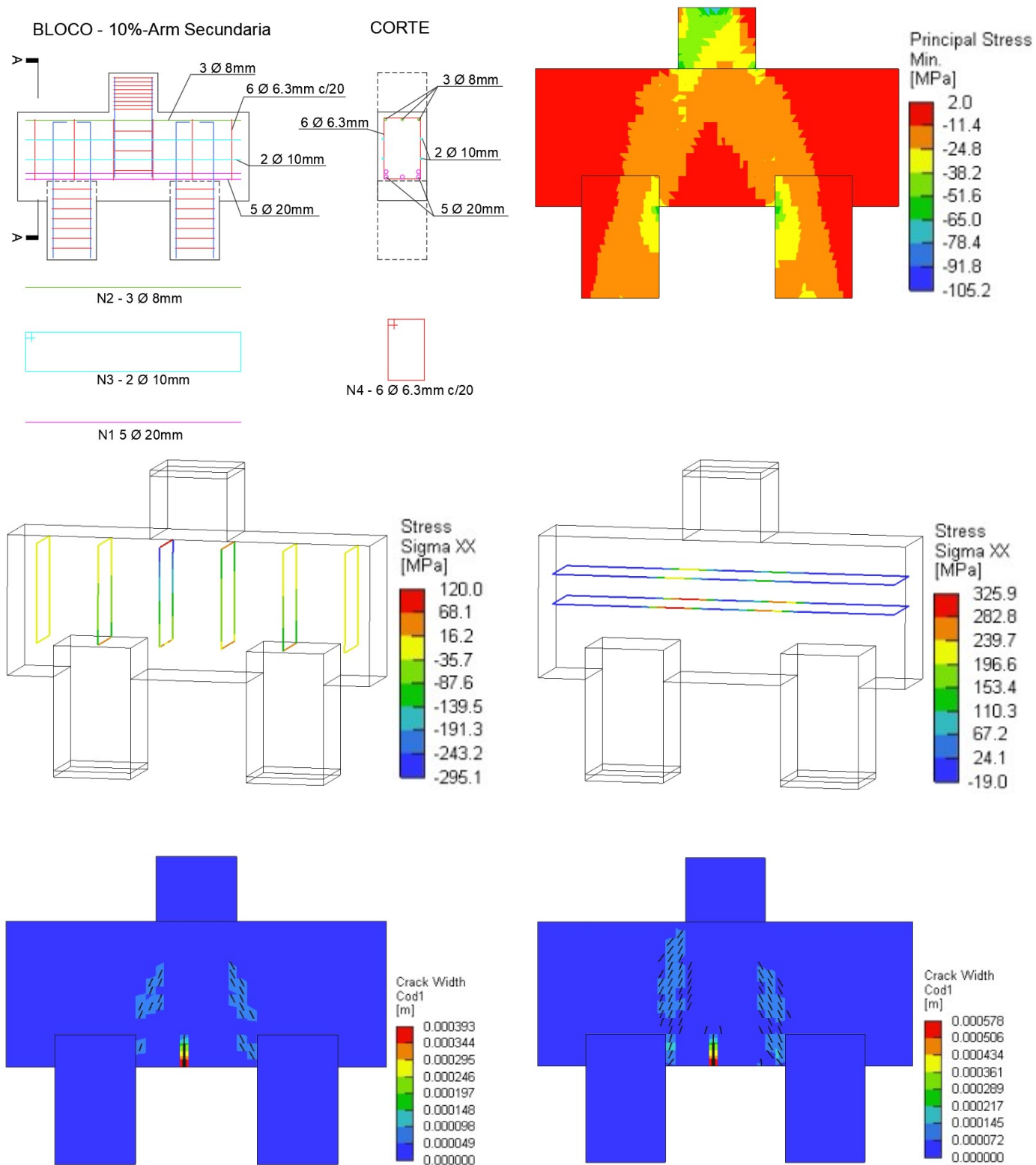


Figura 7 – Resultados do modelo B45P25E24e5N10

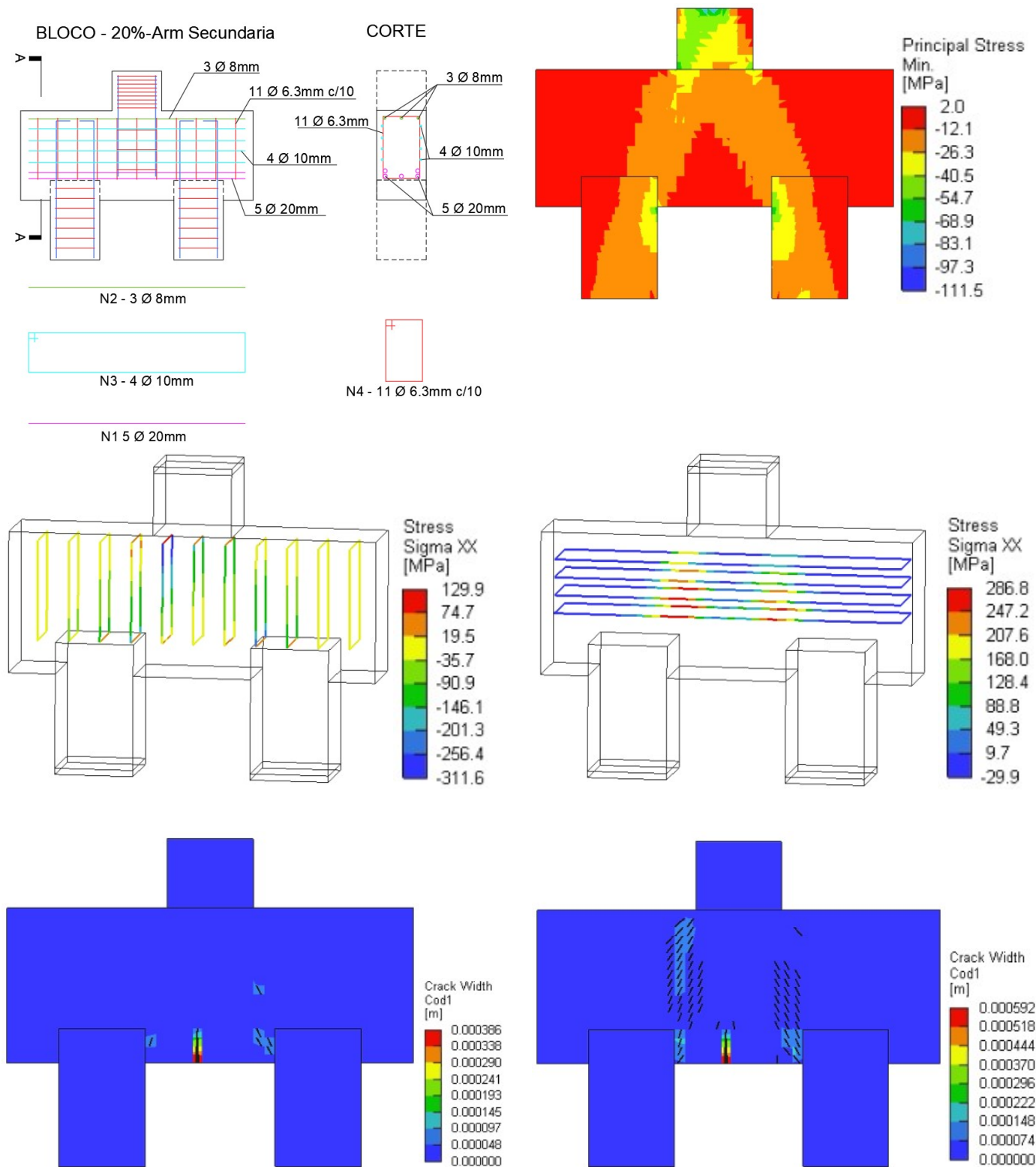


Figura 8 – Resultados do modelo B45P25E24e5N20

Analisando os resultados das figuras observa-se que o aumento da armadura secundária resultou em um acréscimo na resistência das tensões principais na direção das bielas. A tensão de escoamento do aço reduziu à medida que mais armaduras foram adicionadas, proporcionando uma melhor redistribuição dos esforços. O padrão de fissuração apresentou uma redução significativa ao comparar todos os blocos com a carga teórica (F_{teo}). No entanto, a fissura principal é menor nos blocos com menor quantidade de armadura, efeito atribuído à menor solicitação das armaduras de tirante e à maior solicitação no estribo horizontal.

Conclusões

O presente estudo demonstrou, por meio de análises numéricas baseadas no método dos elementos finitos, a relevância das armaduras complementares horizontais e verticais no comportamento estrutural de blocos de concreto armado sobre duas estacas e submetidos a cargas excêntricas. A calibração dos modelos numéricos a partir de experimentos prévios permitiu a obtenção de resultados consistentes, evidenciando que a presença dessas armaduras contribui significativamente para o controle da fissuração, a redistribuição de tensões e o aumento da capacidade portante dos blocos.

Os resultados mostraram que o aumento da taxa de armaduras complementares em 10,00 % e 20,00 % impactou positivamente a resistência dos blocos, reduzindo a abertura de fissuras e melhorando o desempenho estrutural em condições de carga excêntrica. Além disso, verificou-se que, apesar da redução da resistência última em relação aos blocos submetidos às cargas centradas, o reforço secundário teve um papel fundamental na mitigação dos efeitos negativos da excentricidade.

Diante disso, reforça-se a importância da consideração das armaduras complementares no projeto de blocos sobre estacas, especialmente em situações onde há aplicação de cargas excêntricas. Novos estudos podem explorar diferentes configurações geométricas, variações nas taxas de armadura e a influência de outras condições de contorno, contribuindo para um aprimoramento contínuo do dimensionamento e desempenho desses elementos estruturais.

Referências

- ADEBAR, P., KUCHMA, D. e COLLINS, M. P. (1990). Strut-and-tie models for design of pile caps: na experimental study. *ACI Journal*, v. 87, p. 81-91, Jan/Feb.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2023 - Projetos de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, Brasil.
- BASHA, A.; TAYET, A.; MAGLAD, A. M.; MANSOUR, W. (2023) Feasibility of improving shear performance of RC pile caps using various internal reinforcement configurations: Tests and finite element modelling. *ELSERVER - Engineering Structures*.
- BLÉVOT, J. e FRÉMY, R. (1967). Semelles sur pieux. *Annales d'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, Paris, v. 20, n. 230, p. 223-295, fev. (in French).
- BUTTIGNOL, T. E. T.; ALMEIDA, L. C. (2013). Análise da resistência características à compressão do concreto em blocos sobre três estacas. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, Brasil, v. 6, n. 1, p. 158-177, fev.
- CEB-FIP, COMITE EURO-INTERNACIONAL DU BÉTON. Recommandations particulières na calcul et à l'exécution des semelles de fundations. *Bulletin D'Information*. Paris : s.n., 1970. Vol. n. 73. (in French).
- CEB-FIP, MODEL CODE 2010. Lausanne, Switzerland: Comité Euro-Internacional du Béton.
- CERVENKA, V., JANDELE, L. e CERVENKA, J. ATENA program documentation, Part 1: Theory. Prague, Czech Republic, 2018.
- DELALIBERA, R. G. (2006) Análise experimental e numérica de blocos de concreto armado sobre duas estacas submetidos à ação de força centrada e excêntrica. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos - SP.
- LEONHARDT, F. e MONNING, E. (1978) Construções de Concreto Armado. Rio de Janeiro. v 2 - 3, Interciência.
- LUCESI, G. L.; RANDI, R. P.; TRAUTWEIN, L. M.; ALMEIDA, L. C. (2022) Aspectos importantes em análise comparativa experimental versus numérico em blocos sobre estacas. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*. Brasil, v. 15, n 5, e15502.
- MAUTONI, M. (1972) Blocos sobre dois apoios. São Paulo, Grêmio Politécnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- MUNHOZ, F. S. (2014) Análise experimental e numérica de blocos rígidos sobre duas estacas com pilares de seções quadradas e retangulares e diferentes taxas de armadura. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos - SP.
- RANDI, R. P.; ALMEIDA, L. C.; TRAUTWEIN, L. M.; MUNHOZ, F. S. (2018) Análise da influência do comprimento de ancoragem da armadura do pilar no bloco sobre duas estacas. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*. 2018. Vols. V.11, N 5, p. 1122-1150.
- SCHLAICH, J. e SCHAFER, K. (1987) Toward a consistent design of reinforced structural concrete. *Journal of Prestressed Concrete Institute*. Vol. 32, n. 3, p. 74-150.
- TAYLOR, H. P. J. e CLARKE, J. L. (1976) Some detailing problems in concrete frame structure. *The Structural Engineer*.
- TORTOLA, L. M.; MIGUEL, P. F.; PALHARÉS, L. (2019) Punching shear failure in three-pile caps: Influence of the shear span-depth ratio and secondary reinforcement. *ELSERVER - Engineering Structures*.