

AValiação DO COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS REFORÇADAS DE CONCRETO ARMADO PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

BORGES, Gabriel Ribeiro; **REIS**, Andréa Prado Abreu

Palavras-chave: simulação numérica, pilares, concreto armado.

1 – INTRODUÇÃO

No Brasil o concreto armado é o principal material utilizado na construção civil para a execução de estruturas, além de ser adorado pelos arquitetos devido a sua facilidade de moldagem em diferentes formas. Portanto, qualquer estudo que propicie um melhor conhecimento a respeito do comportamento de estruturas feitas em concreto armado traz benefícios à sociedade de maneira geral. Uma análise tradicional do comportamento de estruturas de concreto é baseada em ensaios de laboratório, mas os resultados obtidos nessa forma de análise são limitados e às vezes de difícil interpretação. Portanto, torna-se necessário o desenvolvimento de modelos numéricos para complementar esta análise experimental e possibilitar a generalização dos resultados para diferentes estruturas e formas de carregamento. O Método dos Elementos Finitos é seguramente o processo numérico que mais tem sido usado para este tipo de estudo. A sua larga utilização se deve ao avançado grau de desenvolvimento alcançado pelo método na análise de estruturas de concreto, aliada à analogia física direta que se estabelece, com o seu emprego, entre o sistema real (a estrutura analisada) e o modelo (malha de elementos finitos). Através dele pode-se simular numericamente o real funcionamento das estruturas de concreto. Atualmente têm sido desenvolvidos vários trabalhos sobre como utilizar programas computacionais baseados no método dos elementos finitos para analisar o comportamento de estruturas de concreto por meio de simulações numéricas. Dentre estes, pode-se citar o trabalho de CAMPOS FILHO (2006) e de MERLIN et. al. (2006). Neste trabalho de iniciação científica foi dada prioridade à simulação numérica de pilares flexo-comprimidos devido às publicações técnicas sobre seções retangulares de concreto armado submetidas à flexão composta, salvo raras exceções, trazerem uma abordagem que se caracteriza pela profusão de tabelas e ábacos, não propiciando ao profissional de engenharia uma visão mais clara e unificada dos problemas estruturais que podem surgir neste tipo de elemento (ADORNO, 2004). Portanto, o objetivo geral deste projeto de pesquisa é avaliar o comportamento de estruturas de concreto armado por meio de simulações numéricas usando programas computacionais baseados no Método dos Elementos Finitos, e comparar os resultados numéricos com resultados experimentais disponíveis nas literaturas citadas. Como objetivo específico, estabeleceu-se a avaliação da coerência entre os dados experimentais e os resultados teóricos obtidos pela simulação numérica de pilares flexo-comprimidos ensaiados experimentalmente por ARAÚJO (2004), usando o programa computacional CONSNOU, baseado no Método dos Elementos Finitos, desenvolvido pelo professor Marí da Universidade da Catalunia. Isso foi feito comparando-se as deformações experimentais do concreto com as respectivas deformações teóricas em função do acréscimo de carga na estrutura até sua ruptura ou convergência do modelo numérico adotado.

2 – METODOLOGIA

Fez-se uma revisão bibliográfica sobre o Método dos Elementos Finitos, com o intuito de se compreender o funcionamento do programa computacional utilizado para a

simulação numérica. A partir de então, fez-se o estudo do manual do programa CONSNOU, compreendendo-se sua formulação teórica e a forma de entrada de dados e coleta de resultados. Em seguida consultou-se o programa experimental desenvolvido por ARAÚJO (2004), a fim de selecionar quais pilares flexo-comprimidos seriam mais interessantes serem simulados numericamente usando o programa CONSNOU. Esta seleção baseou-se na análise da qualidade dos resultados experimentais de ARAÚJO observando-se os deslocamentos horizontais medidos no meio do vão por relógios comparadores, e as deformações dos materiais (aço e concreto) coletados por extensômetros para a seção transversal crítica da peça. Depois de selecionados os pilares a serem simulados, identificado suas propriedades mecânicas, suas dimensões, suas respectivas áreas de aço e as posições das instrumentações usadas na coleta das deformações dos materiais e dos deslocamentos horizontais, iniciou-se a discretização e modelagem dessas peças. Foram montados os arquivos de entrada de dados e analisados os resultados gerados. Foram feitas várias análises e ajustes nesses arquivos de entrada de dados, até que fossem gerados resultados satisfatórios que pudessem ser comparados com os dados experimentais de ARAÚJO.

3 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A seguir são apresentadas as curvas experimentais e teóricas do pilar analisado, considerando a linearidade e não-linearidade física dos materiais. Percebe-se analisando as Figuras 1, 2 e 3, que apesar dos resultados teóricos serem coerentes, eles não se aproximam dos resultados experimentais, a não ser no caso da deformação média do concreto na face comprimida que a análise linear feita pelo programa CONSNOU se aproximou bastante do experimental. Pela análise dos gráficos, percebeu-se que as curvas geradas pela análise considerando-se a não linearidade física dos materiais foi prejudicada por não se conseguir gerar mais pontos para serem comparados, já que o programa CONSNOU considerou que a peça romperia com uma carga última 3 vezes menor que a experimental. Para tentar melhorar a convergência do modelo usado pelo CONSNOU tentou-se alterar as tolerâncias em relações aos erros e aumentar o número máximo de interações a serem feitas pelo programa mas nada disso adiantou. Além disso, o aspecto das curvas obtidas usando o modelo não linear não ficou coerente com o que se esperava, pois se constituíam em retas e não em trechos curvos. Esperava-se ainda que o trecho inicial da curva não linear fosse coincidente com o trecho inicial da curva obtida usando uma análise linear, o que não foi observado. Isso confirma que os resultados gerados pela análise não linear estão incorretos, devendo haver alguma inconsistência no arquivo de entrada de dados que está provocando este tipo de problema.

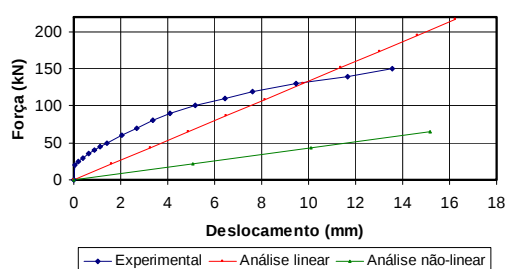


Figura 1 - Deslocamento horizontal no meio do vão

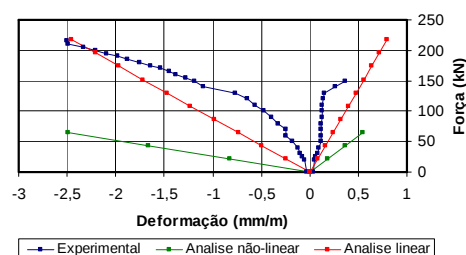


Figura 2 - Deformações médias do concreto nas faces tracionada e comprimida

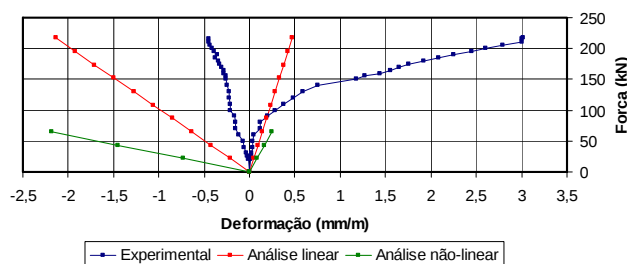


Figura 3 - Deformações médias nas armaduras tracionada e comprimida

4 – CONCLUSÕES

Através dos resultados experimentais dos pilares ensaiados por ARAÚJO foram montados gráficos específicos da força em função dos deslocamentos no meio da altura e da força em função das deformações dos materiais (aço e concreto). Com estes gráficos foi possível identificar quais pilares apresentavam resultados experimentais mais confiáveis, e que, portanto eram viáveis de serem simulados pelo programa CONSNOU, assim como estabelecer um modelo para a análise de resultados experimentais através de suas representações gráficas. Percebendo-se que tais gráficos são extremamente importantes pois serão usados para avaliar a qualidade dos resultados teóricos fornecidos pelas simulações numéricas. Após realizar esta pesquisa, percebeu-se que o uso de programas computacionais baseado no método dos elementos finitos é uma ferramenta de análise bastante poderosa, mas que deve ser utilizada com critério e por pessoas que realmente entendam do comportamento físico real da estrutura que se pretende analisar. Isso porque nem sempre a realização de análises do comportamento estrutura por simulações numéricas é tão simples quanto normalmente se imagina, e a adoção de um modelo matemático com informações equivocadas sobre cargas, local e tipo de vinculações, propriedades dos materiais, dentre outras, podem gerar resultados bastante distintos dos que se espera.

5 – AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Universidade Federal de Goiás pela oportunidade de participar do PIVIC e à orientadora, Prof^a. Dr^a. Andréa Prado Abreu Reis, pelo incentivo e pela oportunidade cedida a fazer parte de um projeto de pesquisa o que agregou ainda mais conhecimento ao período acadêmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, L.M.B. Análise teórico-experimental de pilares de concreto submetidos à flexo-compressão composta. 196p. Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2004.
- MARI, A. R. Programa CONSNOU. 43p. Departament d'Enginyeria de la Construcció, Universitat Politècnica de Catalunya, 1998.
- MERLIN, A. J.; EL DEBS, M. K.; HANAI, J. B. & REIS, A. P. A. (2006) *Simulação numérica dos efeitos dependentes do tempo em vigas de concreto armado reforçadas à flexão no bordo comprimido*. In.: XXXII Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural. Campinas, São Paulo.
- CAMPOS FILHO, A. (2006). *O método dos elementos finitos aplicado à análise de estruturas de concreto*. In.: Anais do VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. São Paulo.