

6 Conclusões e Sugestões

O presente trabalho teve como objetivo analisar a flambagem das armaduras longitudinais em pilares de concreto armado submetidos a carregamento axial levando em conta o espaçamento entre os estribos, o diâmetro e arranjo dos estribos na seção transversal e o diâmetro das armaduras longitudinais.

Para tal propósito um método analítico para a avaliação da flambagem da armadura longitudinal foi descrito, considerando-se as barras longitudinais restringidas pela rigidez axial ou à flexão dos estribos. Estudaram-se particularmente dois casos. No primeiro caso, considerou-se a armadura longitudinal como uma coluna e os estribos como apoios discretos. No segundo caso, considerou-se a armadura longitudinal como uma coluna sobre base elástica, onde a base elástica é composta pelos estribos. Para se considerar o caso de emendas das barras na presente formulação, considerou-se a armadura livre em uma das extremidades. Considerou-se na modelagem um ou mais modos de deformação, incluindo-se a não-linearidade geométrica.

Foram utilizados modos de deformação mais gerais que combinem deformações simétricas e não-simétricas, o que parece mais próximo do que acontece na realidade, como se tem verificado de ensaios em pilares de concreto como apresentados nos trabalhos de Sheikh & Uzumeri (1980). Isto foi confirmado pelas simulações numéricas apresentadas nesta tese, pois os modos combinados, mesmo quando dirigidos para fora do núcleo de concreto, levam a menor carga crítica.

Verificou-se que, para o modo de deformação mais geral, um estudo de flambagem linearizado é suficientemente adequado para projeto, visto que o parâmetro de carga varia pouco em relação ao deslocamento.

Foram obtidos gráficos que relacionam o parâmetro de carga crítica da armadura longitudinal com o parâmetro de rigidez dos estribos, e verificou-se que o valor do parâmetro de carga, para altos valores do parâmetro de rigidez dos estribos, cresce quase que linearmente. Isto sugere a adoção de expressões

simplificadas para projeto. Entretanto, o procedimento adotado neste trabalho parece suficientemente simples para uso rotineiro.

Para o estudo do comportamento pós-crítico incorporaram-se os termos não-lineares nas equações de equilíbrio, como se apresentam nas equações (3.63) à (3.81) e verificou-se que para modos de deformações simétricos o caminho pós-crítico da coluna é estável para pequenos valores de rigidez, η , tornando-se instável para altos valores desse parâmetro.

Foi mostrado que a consideração de apoios discretos ao longo da coluna se torna desnecessária, visto que a consideração de apoios flexíveis distribuídos continuamente ao longo da coluna pode ser realizada quando existem muitos apoios laterais espaçados igualmente, como é o caso dos pilares usuais de concreto armado.

A partir da obtenção dos gráficos que relacionam o parâmetro de carga da armadura longitudinal com o parâmetro de rigidez dos estribos, mostrou-se interessante propor uma seqüência de projeto, caracterizando o dimensionamento racional dos estribos em pilares de concreto armado. Os exemplos mostram que o resultado de tal procedimento pode se tornar compatível com os resultados existentes em normas de projeto atuais, por uma calibragem adequada dos parâmetros envolvidos.

Os valores calculados para o espaçamento e diâmetro dos estribos foram obtidos a partir da consideração de um modo de flambagem geral que poderia inclusive envolver vários estribos.

A partir dos resultados apresentados verifica-se que a armadura transversal pode oferecer diferentes contribuições para a resistência à flambagem das barras longitudinais. As barras localizadas nos cantos dos estribos são restringidas por uma rigidez extensional e aquelas barras localizadas na perna de um estribo são restringidas apenas pela rigidez a flexão. No caso de haver emendas das barras da armadura por mera justaposição, o parâmetro de rigidez necessário para este caso deve ser maior que no caso sem emendas.

Foi mostrado, através de exemplos, que o procedimento adotado neste trabalho permite que se atinja a rigidez necessária (isto é, uma carga crítica superior à carga limite de compressão simples da barra longitudinal), com diversas variáveis: espaçamento entre os estribos, diâmetro dos estribos, diâmetro da armadura longitudinal, uso de estribos suplementares (em cada seção ou

alternadamente), e reposicionamento das barras da armadura longitudinal. Estas duas últimas variáveis correspondem a variações no vão de flexão dos estribos. Foram discutidos ainda diversos arranjos da armadura transversal que fornecem maior rigidez e confinamento; tais arranjos são mais usuais em projetos buscando maior ductilidade sob ações sísmicas.

A NBR 6118 garante que num estado limite a flambagem ocorreria entre dois estribos consecutivos. Porém, verifica-se a partir do presente estudo que a imposição da flambagem entre estribos consecutivos leva a valores desnecessariamente altos do parâmetro de carga, Γ_l , ao se admitir a redução do espaçamento dentro do procedimento racional aqui proposto.

O caso apresentado na Figura 5.20 mostrou que a concentração das barras longitudinais próximas dos cantos causa um aumento do parâmetro de rigidez dos estribos, já que há uma redução do vão de flexão dos estribos ao se aproximar as barras do canto. Assim, pode-se reduzir o número de estribos suplementares de forma racionalmente justificada.

Pode ainda ser considerada uma rigidez efetiva para o estribo como a média entre a rigidez calculada quando se consideram estribos suplementares e a rigidez calculada sem a consideração dos mesmos. Assim, pode-se dimensionar o estribo utilizando um espaçamento duplo, ou seja, a cada dois espaçamentos colocam-se estribos suplementares, o que pode ser benéfico na hora da concretagem.

Em resumo, propõe-se um projeto racional de armadura transversal, com uso de considerações relacionadas à flambagem da armadura longitudinal. Um eventual maior consumo de armadura pode ser compensado por melhores condições de execução de pilares, devido à redução de armaduras suplementares.

Com a finalidade de se dar prosseguimento a esta linha de pesquisa são apresentadas a seguir algumas sugestões:

- Fazer uma verificação experimental das conclusões deste trabalho, particularmente em pilares de concreto de alta resistência.
- Fazer um estudo de situações de cargas cíclicas em regime próximo ao colapso, o que pode ser necessário em edificações de grande importância, mesmo em regiões de baixa sismicidade.
- Executar um estudo mais aprofundado da interação entre as armaduras e o concreto, considerando-se por um lado a contribuição da rigidez efetiva do

concreto na restrição à flambagem de armaduras, e por outro a contribuição dos estribos no confinamento do concreto, em diferentes situações de carregamento e de falhas construtivas.