

1. Introdução

1.1. Generalidades

Projetar corretamente lajes protendidas pode contribuir significativamente para a economia e a estética das edificações. Como resultado, esse tipo de laje tem sido empregado com frequência nos pavimentos de edificações nos últimos anos, graças a um número considerável de experiências feitas pelo mundo e a novas concepções arquitetônicas. Lajes protendidas com cordoalhas engraxadas têm sido executadas mostrando o excelente desempenho desta tecnologia. Além disso, as lajes de concreto protendido oferecem vantagens técnicas sobre a solução tradicional em concreto armado, principalmente no controle de fissuras e grandes deformações para as cargas de serviço, e pela facilidade para vencer vãos maiores com seções mais esbeltas.

Com o intuito de fornecer critérios práticos para o projeto desses pavimentos, foi realizada uma análise numérica do comportamento de pavimentos constituídos de lajes lisas de concreto protendido e os resultados são apresentados neste trabalho. Foram analisadas as tensões, geradas pela componente longitudinal da força de protensão (interpretada como um carregamento externo equivalente), em determinados pontos de controle.

Numa primeira etapa do estudo foi realizada uma análise do comportamento geral das tensões em lajes maciças e nervuradas sem considerar a influência dos pilares. A otimização das tensões provenientes da parcela P/A será a través de um coeficiente que represente melhor estas tensões. O coeficiente ϕ relaciona as tensões máximas e mínimas nas zonas de regularização das tensões no interior das lajes com a tensão de protensão aplicada na ancoragem. Na segunda etapa foi incluída a contribuição da rigidez dos pilares, para o mesmo estudo, avaliando a força retida nos pilares na sua contribuição na distribuição das tensões.

Foi utilizado o programa computacional SAP 2000 para desenvolver modelos de elementos finitos, utilizando elementos tipo casca para modelar a laje, o qual considera forças no plano nos locais onde a protensão é aplicada, e também considera a contribuição das colunas que são modeladas usando elementos tipo viga. Os resultados do comportamento das tensões atuantes, geradas pelo efeito da protensão como carregamento externo equivalente, são mostrados proporcionando uma comparação entre a solução de programa de computador, muitas vezes utilizado na prática, e a solução encontrada nos cálculos simplificados.

Programas de computador comerciais bastante utilizados atualmente tendem a modelar o pilar como apoios pontuais, e as lajes são modeladas utilizando elementos mais simples do tipo grelha ou viga. Assim foi realizado um exemplo para um sistema de lajes nervuradas com diferentes elementos na sua modelagem no programa computacional SAP2000. Primeiramente, as mesas e faixas, onde a protensão é aplicada, foram representadas por elementos tipo casca e as nervuras por elementos tipo viga levando em conta a excentricidade entre seus centros geométricos. Em seguida foi desenvolvido outro modelo, que se trata de uma solução de, relativamente, simples implementação computacional, onde todo o sistema é modelado com elementos tipo viga. Verificou-se o comportamento das tensões nas lajes lisas nervuradas de concreto protendido, analisando a influência da componente longitudinal devida à protensão.

1.2. Motivação da Pesquisa

Atualmente, edifícios residenciais, comerciais e industriais têm utilizado as lajes planas como sistema estrutural para os seus pisos. Lajes planas com uso de cordoalhas engraxadas e plastificadas, por sua extrema facilidade de aplicação, tornaram-se muito utilizadas. Pode-se observar que o uso destes pavimentos é bastante difundido no mundo. No Brasil, o número crescente de obras executadas testemunha a veracidade das razões em favor desta moderna e interessante solução. Por isso, torna-se indispensável o conhecimento mais aprofundado de estruturas com a utilização da protensão não aderente.

O conhecimento sobre a quantificação das solicitações e o comportamento de lajes protendidas, infelizmente, é bastante escasso, sendo necessário um maior esclarecimento quanto à grandeza e distribuição de tensões neste tipo de pavimentos, usando métodos de cálculo simplificados que ajudem à sua compreensão. Por essas afirmações, surge a necessidade de contribuir com os estudos de cálculo envolvendo as lajes protendidas apresentados neste trabalho, e que de alguma maneira poderia facilitar a verificação das tensões pelos projetistas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Esta dissertação tem como objetivo geral estabelecer critérios práticos para cálculo de lajes lisas protendidas, maciças ou nervuradas, através do método simplificado por comparação com resultados numéricos das tensões obtidas através de uma análise linear elaborada com o emprego do método dos elementos finitos, visando fornecer subsídios para a definição dos critérios de projeto e contribuir com informações e conclusões que possam ser adotadas como parâmetros de projeto, ou direcionar projetistas para o uso adequado das lajes lisas.

1.3.2. Objetivos Específicos

Investigar, através de uma análise numérica o comportamento das tensões em lajes lisas de concreto protendido com cordoalhas não aderentes, analisando a influência da tensão gerada pela componente de pré-compressão no plano da laje e a contribuição dos pilares no cálculo dessas. Estabelecendo uma metodologia para o cômputo da tensão em lajes protendidas não aderentes.

Verificar se o comportamento das lajes protendidas é adequadamente simulado pela modelagem com elementos tipo viga, que é amplamente utilizado atualmente, através de uma comparação de resultados numéricos com a modelagem usando elementos tipo casca, ambos fornecidos pelo programa computacional SAP2000[18].

1.4. Organização do Trabalho

Esta dissertação está dividida em seis capítulos.

Capítulo 1: INTRODUÇÃO - é o capítulo onde se apresenta o tema da dissertação, a motivação da mesma, os objetivos principais e específicos e o conteúdo da dissertação.

Capítulo 2: PESQUISA BIBLIOGRÁFICA - buscando estabelecer uma fundamentação teórica adequada são pesquisados conceitos relacionados com os sistemas estruturais e tipos de lajes envolvidas no estudo, os tópicos mais relevantes sobre protensão, como os sistemas de protensão e traçado dos cabos. Apresenta-se também uma revisão da bibliografia sobre o efeito da rigidez dos pilares na força de protensão, o método dos elementos finitos em relação com as lajes protendidas, assim como o programa computacional utilizado.

Capítulo 3: MODELAGEM POR ELEMENTOS FINITOS DE LAJES – este capítulo apresenta um estudo sobre a modelagem de lajes protendidas, maciças e nervuradas, onde foram feitos diversos modelos visando selecionar o nível de discretização necessário para convergência, bem como os tipos de elementos finitos mais adequados a serem utilizados no desenvolvimento da dissertação.

Capítulo 4: METODOLOGIA DA ANÁLISE NUMÉRICA – neste capítulo, descreve-se a metodologia proposta para os estudos desenvolvidos nesta pesquisa e apresentam-se os modelos a serem utilizados para a análise de lajes maciças e nervuradas, assim como os cálculos simplificados para o cômputo da tensão sugerido no presente trabalho.

Capítulo 5: EXEMPLO DE APLICAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS – neste capítulo são apresentados dois exemplos práticos. Primeiro, uma laje maciça, onde as tensões máximas e mínimas, geradas pela força de protensão, são calculadas para seções críticas através de uma análise numérica usando a metodologia apresentada no capítulo 4. Em seguida, a mesma laje é modelada no SAP2000, via Método dos Elementos Finitos (MEF), fornecendo assim, uma análise comparativa dos resultados do cálculo das tensões. Segundo, um sistema de lajes nervuradas é modelado para um carregamento equivalente no Sap2000 empregando diferentes elementos na sua modelagem. São apresentados e analisados os resultados obtidos das análises numéricas, através de tabelas e gráficos comparativos.

Capítulo 6: CONCLUSÕES – No sexto e último capítulo, estão reunidas as considerações finais, as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.