



RECOMENDAÇÕES PARA PROJETOS ARQUITETÔNICOS CONCEBIDOS COM O SISTEMA ESTRUTURAL DE LAJES PLANAS PROTENDIDAS

Marina M. Duarte – marina.duarte@univali.br

UNIVALI - Universidade do Vale de Itajaí - Curso de Arquitetura e Urbanismo
Quinta Avenida, s/n – Bairro dos Municípios
88337-300 – Balneário Camboriú – Santa Catarina

Ana Carolina Reis Lozovey – ana.lozovey@univali.br

UNIVALI - Universidade do Vale de Itajaí - Curso de Arquitetura e Urbanismo
Quinta Avenida, s/n – Bairro dos Municípios
88337-300 – Balneário Camboriú – Santa Catarina

Lucas Mincaroni Neto Radatz – lucasmincaroni@gmail.com

UNIVALI - Universidade do Vale de Itajaí - Curso de Arquitetura e Urbanismo
Quinta Avenida, s/n – Bairro dos Municípios
88337-300 – Balneário Camboriú – Santa Catarina

Júlia Paula Girelli – jugirelli@hotmail.com

UNIVALI - Universidade do Vale de Itajaí - Curso de Arquitetura e Urbanismo
Quinta Avenida, s/n – Bairro dos Municípios
88337-300 – Balneário Camboriú – Santa Catarina

Resumo: Considerando o atual cenário de recessão econômica, o setor da construção civil está passando por um processo de adaptação e modernização, no qual construtoras buscam novos métodos e processos de execução que aumentem a produtividade dos serviços e reduzam o custo dos empreendimentos. Além disso, existe uma tendência de oferecer apartamentos com liberdade para a disposição dos ambientes, permitindo ao cliente personalizá-lo de acordo com sua identidade e estilo de vida. Uma solução que oferece maior produtividade e flexibilidade arquitetônica é o uso de lajes planas protendidas. Esse sistema é utilizado nos Estados Unidos e Europa há mais de 60 anos, sendo que no Brasil sua aplicação vem crescendo, principalmente no nordeste e sudeste do país. Na região sul verifica-se que, em quase sua totalidade, os empreendimentos são concebidos em concreto armado moldado ‘in loco’. Nos cursos de graduação em arquitetura há poucos projetos desenvolvidos com lajes planas protendidas e, conseqüentemente, existem poucos arquitetos que dominam essa tecnologia. Diante deste contexto, observou-se a necessidade de explorar mais o assunto no Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Itajaí. Neste trabalho são apresentadas recomendações e orientações gerais para projetos arquitetônicos com o uso de lajes planas protendidas e que são abordadas nas disciplinas de Sistemas Estruturais, Projeto Integrado e Trabalhos Finais de Graduação. Observou-se que esta metodologia empregada aumentou significativamente o número e a qualidade dos projetos desenvolvidos na graduação com a solução estrutural em lajes planas protendidas.

Palavras-chave: Laje Plana Protendida, Arquitetura, Ensino-Aprendizagem.

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



UNISOCIESC
Educação e Tecnologia

Promoção



ABENGE
Associação Brasileira de Educação em Engenharia



1 INTRODUÇÃO

Em função do atual cenário de recessão econômica, o setor da construção está passando por um relevante processo de adaptação e modernização, no qual construtoras buscam novos métodos e processos de execução que aumentem a produtividade dos serviços e reduzam o custo dos empreendimentos, de forma a ter um produto mais competitivo, sem perder a qualidade.

Além disso, existe uma tendência de oferecer apartamentos que possibilitem maior liberdade para a disposição dos ambientes, permitindo ao cliente personalizá-lo de acordo com sua identidade e seu estilo de vida. Em função disso, torna-se fundamental um lançamento estrutural sem vigas e com um número reduzido de pilares internos.

Uma solução que pode atender a estas necessidades de maior produtividade e flexibilidade arquitetônica é o uso de lajes planas protendidas. Neste sistema construtivo não são utilizadas vigas, sendo as lajes apoiadas diretamente sobre os pilares. A protensão das lajes permite empregar maiores vãos e proporciona um aumento da resistência à punção, favorecendo o sistema de lajes sem o apoio de vigas.

Ademais, o sistema pode gerar uma economia significativa no empreendimento ao serem consideradas as reduções de áreas de formas, mão de obra e tempo de execução (NASCIMENTO, 2004).

Almeida Filho (2002) afirma que essa tecnologia pode, inclusive, ser utilizada em edifícios de vãos pequenos, por exemplo, em apartamentos populares de um dormitório.

No estado de Santa Catarina o emprego é muito incipiente ainda, provavelmente por existirem poucos profissionais com experiência no assunto e domínio da técnica envolvida (desde a concepção da forma à execução do empreendimento).

O movimento atual da construção civil exige reflexão e mudança de postura. Para tal, é preciso romper paradigmas e atualizar o processo de ensino-aprendizado na área de estruturas para os cursos de arquitetura.

Constata-se que há poucos projetos desenvolvidos com lajes planas protendidas ao longo dos cursos de graduação em arquitetura. Uma orientação a fim de conduzir as decisões quando da concepção arquitetônica, com o objetivo de empregar a tecnologia otimizando as suas potencialidades, torna-se conveniente dentro do contexto atual apontado.

Neste trabalho são apresentadas considerações relevantes que objetivam direcionar o emprego de lajes planas protendidas nos projetos de graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo da Univali. As recomendações documentadas são fontes de conteúdo abordado em disciplinas de Sistemas Estruturais e Projeto Integrado, além de servirem como orientação para os projetos desenvolvidos para a conclusão do curso.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Lajes Planas Protendidas

Desde a década de 50 os EUA e o Canadá utilizam o conceito de lajes planas protendidas com cordoalhas engraxadas, a qual se adaptou muito bem às obras industriais, como pisos, e obras prediais, com caráter comercial e residencial, trazendo benefícios com relação ao tempo de execução, à possibilidade de se vencer vãos maiores, à segurança e à durabilidade (FERREIRA, 2013).



Somente em 1997 estas monocordoalhas engraxadas começaram a ser produzidas no Brasil.

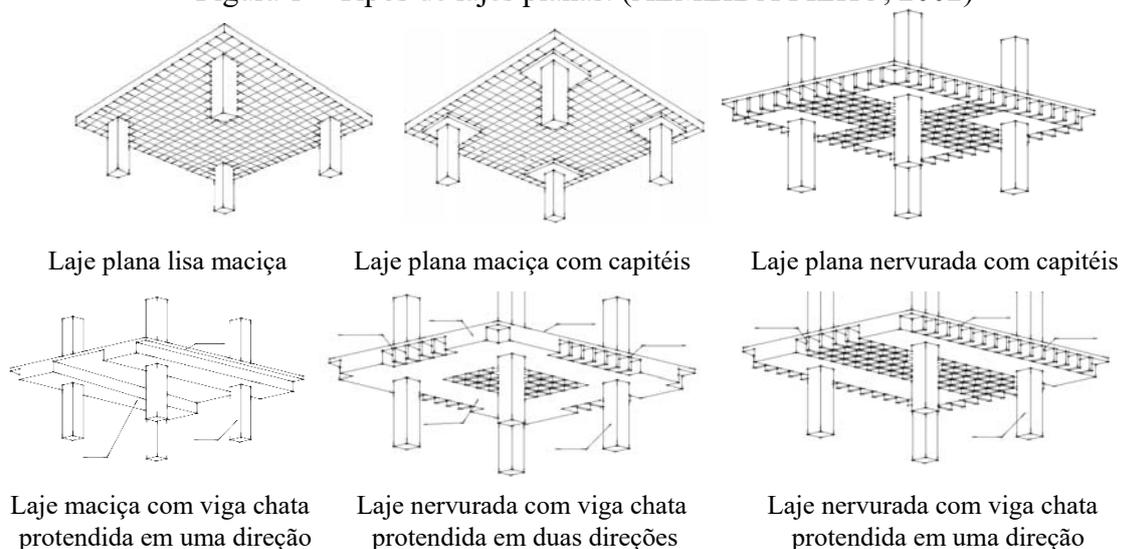
Atualmente, o emprego do sistema mostra-se em crescente ascensão. Na região Nordeste tem sido extensivamente utilizado em edifícios residenciais e comerciais, a fim de suprir as limitações do concreto armado convencional.

A protensão pode ser definida como o artifício de introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões, de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob ação de diversas solicitações (PFEIL, 1984).

A crescente aplicabilidade da protensão se dá, principalmente, em lajes planas com o emprego de cordoalhas engraxadas, em que não há aderência entre o concreto e o aço de protensão. Esse sistema estrutural apresenta grandes vantagens em relação ao sistema convencional em concreto armado. Entre os aspectos construtivos, o sistema apresenta um processo mais racional, que agiliza e simplifica a execução de diversas etapas como a produção e montagem de fôrmas, confecção de armaduras, concretagem e execução das instalações. Quanto aos aspectos arquitetônicos, esse sistema estrutural permite um maior pé-direito disponível do pavimento, presença de tetos lisos com maior liberdade na definição dos espaços, maior esbeltez e melhores condições de ventilação e iluminação (MELLO *apud* ZILLI & BORTOLOTTI, 2013). Estruturalmente, a protensão reduz significativamente as deformações e a fissuração, além de aumentar consideravelmente a resistência à punção.

Na Figura 1 estão ilustrados desenhos esquemáticos dos tipos de lajes.

Figura 1 – Tipos de lajes planas. (ALMEIDA FILHO, 2002)



3 DESENVOLVIMENTO

Para difundir o emprego de lajes planas protendidas no mercado regional e preparar os estudantes de arquitetura para desenvolver projetos que explorem toda a potencialidade desta tecnologia, fez necessário modificar os conteúdos abordados em algumas disciplinas de Sistemas Estruturais do Curso de Arquitetura.

A partir de uma ampla pesquisa bibliográfica para o estudo dessa tecnologia e uma análise criteriosa de projetos arquitetônicos e estruturais disponíveis em FERREIRA (2013), BORTOLOTTI (2013), ANÁLISE INSTABILIDADE (2016), MOURA (2002) e ALMEIDA



FILHO (2002) empregando lajes planas protendidas foi desenvolvido um material didático que está sendo aplicado em disciplinas da área de estruturas, em diferentes períodos do curso.

Os principais itens abordados em sala de aula estão apresentados na sequência.

3.1 Liberdade de disposição dos ambientes

No sistema convencional onde são adotadas lajes apoiadas sobre vigas, há a preocupação de posicionar essas vigas onde há divisórias de ambientes e, conseqüentemente, paredes, de forma a minimizar as interferências no projeto arquitetônico. De certa forma, esse processo limita a possibilidade de alterações na disposição dos ambientes.

Ao ser concebido um projeto com laje plana, há liberdade de personalização do pavimento em função do teto livre de vigas, com um aspecto plano que não enrijece a definição prévia do layout de uma área.

Além disso, o sistema oferece grande flexibilidade arquitetônica devido aos vãos entre pilares, que comumente são afastados de uma distância em torno de 8m.

3.2 Facilidade na disposição de vagas de garagem

Um dos principais obstáculos na concepção da forma e distribuição dos espaços durante o projeto arquitetônico é atender o número de vagas de garagem solicitado. Tendo em vista que os vãos entre pilares, com o sistema de lajes planas protendidas, ficam próximos de 8m, verifica-se a facilidade de serem projetadas três amplas vagas de garagem em cada intervalo entre os apoios.

3.3 Lajes com trechos em balanço: pilares recuados da fachada

O punção apresenta grande importância no caso das lajes planas. Trata-se de uma ruptura sem deformações prévias, ou seja, é uma ocorrência repentina que pode resultar de carga ou reação localizada sobre uma pequena área da laje, denominada "área de carga" (SCHMID, 1999).

A NBR6118:2014 indica o cálculo da área crítica para a determinação da armadura transversal resistente aos esforços de punção. Para que seja possível reforçar o pilar ao redor de todo o seu perímetro e se obter uma melhor distribuição das tensões cisalhantes, é interessante que sejam previstos pilares recuados da fachada. Ademais, ao se conceber um trecho de laje em balanço, obtém-se uma melhor distribuição dos esforços de flexão na laje e reduz-se os momentos nos pilares de extremidade.

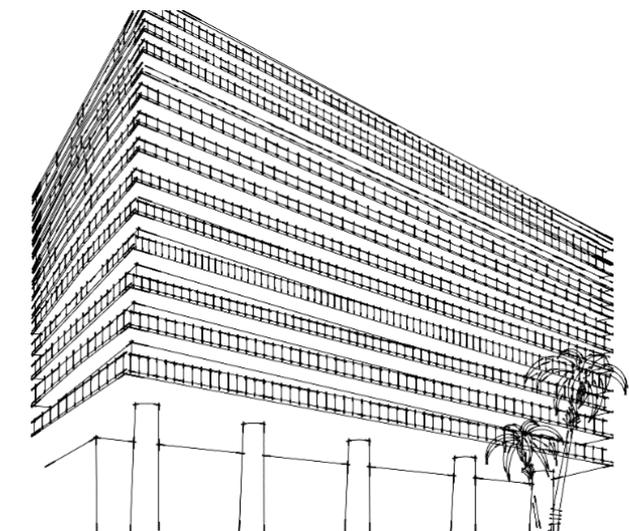
Observa-se que, em sua grande maioria, os pilares são locados recuados da fachada, com um trecho da laje em balanço da ordem de 25% do trecho interno. Isso se reflete na fachada que acaba tendo um aspecto mais esbelto entre os pavimentos, conforme visualizado na Figura 2.

3.4 Sacadas sem coleta d'água

Uma vez a estrutura concebida sem vigas internas ou de bordo, as áreas das sacadas, normalmente, são projetadas sem coleta d'água, com inclinação para fora do prédio, apenas com uma pingadeira. Os ralos, previstos em sacadas com lajes apoiadas em vigas, não aparecem mais nesse sistema em função da ausência das vigas e, conseqüentemente, da ausência de forros.



Figura 2 – Fachada com lajes em balanço.



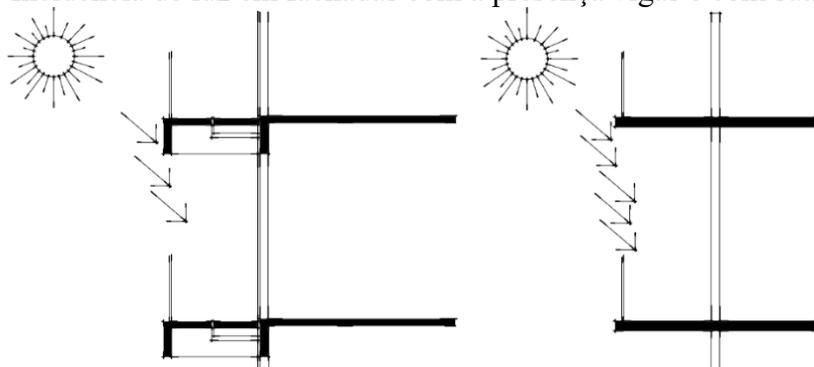
3.5 Sacadas sem coleta d'água

Uma vez a estrutura concebida sem vigas internas ou de bordo, as áreas das sacadas, normalmente, são projetadas sem coleta d'água, com inclinação para fora do prédio, apenas com uma pingadeira. Os ralos, previstos em sacadas com lajes apoiadas em vigas, não aparecem mais nesse sistema em função da ausência das vigas e, conseqüentemente, da ausência de forros.

3.6 Aumento da entrada de luz e ventilação em fachadas sem vigas

As fachadas sem vigas de bordo, concebidas apenas com lajes em balanço, têm aumentada a incidência de luz e, conseqüentemente, de calor, conforme ilustrado na Figura 3. Uma análise de conforto térmico considerando o clima do local de construção da edificação e a influência da incidência da luz nas diferentes fachadas é fundamental.

Figura 3 – Incidência de luz em fachadas com a presença vigas e com sua ausência.



Além do aumento da entrada de luz, há também maior ventilação.

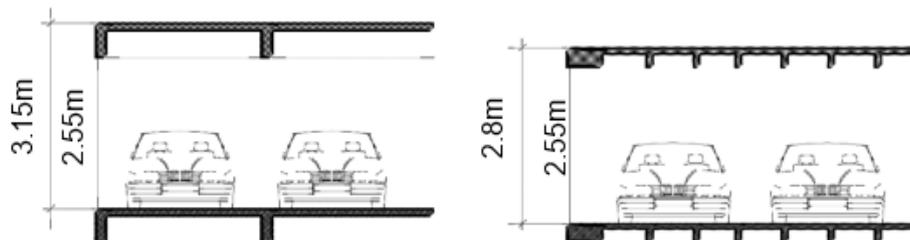
Ademais, a ausência de vigas de bordo amplia o ângulo de visão do exterior a partir das aberturas dos ambientes.



3.7 Menor altura total da edificação

A ausência de vigas proporciona uma redução da distância de piso a piso em relação ao sistema convencional de lajes apoiadas sobre vigas. Observando a Figura 4, identifica-se que para um mesmo valor de pé-direito desejado, é possível trabalhar com uma distância menor entre pisos. Uma redução da ordem de 35cm por andar, proporciona o ganho de 3,15m a cada 9 andares.

Figura 4 – Distâncias entre pisos.



Isso se reflete também em um volume menor de escavação para a execução de um pavimento no subsolo, ao se manter fixo o nível do térreo, podendo significar em uma economia considerável dependendo da área da edificação nesse nível.

Mantendo-se a mesma linha de raciocínio, verifica-se que há uma redução do número de degraus entre pavimentos, assim como do comprimento de rampas.

3.8 Compatibilização entre projetos

É fundamental a compatibilização entre os projetos arquitetônico e estrutural e todos os demais (hidro-sanitário, elétrico, telefonia, SPDA, incêndio, ar condicionado, etc) uma vez que furos e shaft's deverão ser previstos em projeto, não podendo ser realizados após a estrutura concretada (PASSOS, 2016). Por outro lado, o fato de se ter um teto sem vigas facilita muito a execução das instalações durante a construção.

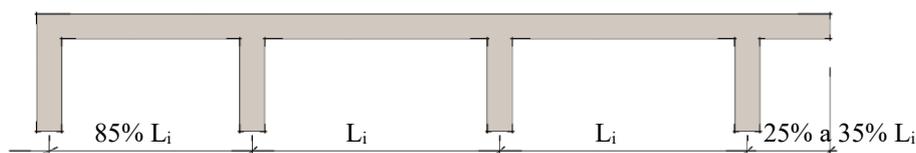
3.9 Modulação dos vãos

EMERICK (2002) considera economicamente atraentes valores para vãos de lajes planas protendidas entre 7m e 9m. Além disso, recomenda para a modulação dos vãos os seguintes critérios:

- Vãos intermediários: iguais entre si;
- Vãos extremos: comprimentos entre 85% dos vãos internos;
- Balanços: 25% a 35% do vão interno;

A Figura 5 apresenta um desenho esquemático dos critérios citados.

Figura 5 – Modulação dos vãos.





3.10 Pilares não necessariamente alinhados

Quando se concebe uma estrutura com lajes apoiadas sobre vigas há a preocupação de serem locados pilares alinhados, a fim de uni-los com vigas e criar pórticos, de forma a enrijecer a edificação quanto a carregamentos horizontais de vento, garantindo a sua estabilidade.

Uma vez que se eliminam as vigas e empregam-se lajes planas apoiadas diretamente sobre pilares, não há mais a necessidade de alinhamento desses elementos, facilitando sua locação no projeto arquitetônico e diminuindo a interferência da estrutura nos ambientes.

3.11 Pilares mais quadrados

CAUDURO (2007) recomenda que a seção dos pilares quando do emprego de lajes planas protendidas sejam mais quadrados, de forma a aumentar o perímetro crítico à punção e, conseqüentemente, ter maior resistência ao cisalhamento.

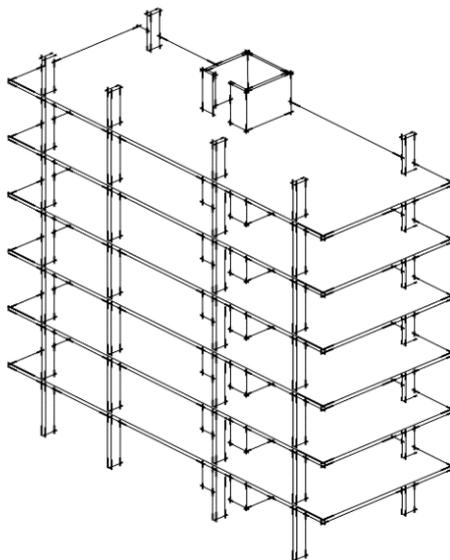
3.12 Transições

EMERICK (2002) cita que os vãos entre pilares comumente aplicados quando do emprego das lajes planas protendidas quase elimina a necessidade de transições, havendo apenas elementos verticais contínuos desde a fundação até a cobertura.

3.13 Estabilidade global da edificação

No sistema de lajes planas, o contraventamento fica a cargo, pelo menos numa primeira análise, do conjunto de pilares que a compõem. Pois, sendo a estrutura desprovida de vigas, não haveria *a priori* a estabilização da edificação por pórticos espaciais. Neste caso, é comum a utilização de pilares-paredes no formato de “U” ou “L”, ilustrado na Figura 6, convenientemente posicionados na planta da edificação, conferindo a esta a rigidez necessária em ambas as direções para sua estabilidade.

Figura 6 – Elemento vertical de grande rigidez confere rigidez à edificação.





Levando-se em consideração que lajes protendidas apresentam uma espessura mínima de dezesseis centímetros (Item 13.2.4.1 da ABNT NBR 6118:2014 [2]), sendo comum o uso de pelo menos dezoito centímetros, entende-se que há uma contribuição do efeito de diafragma rígido e do travamento dos pilares, assegurando que todos trabalhem juntos na estabilização da estrutura. (PASSOS *et al*, 2016)

SILVEIRA (2007) recomenda que, no projeto arquitetônico, elementos de grande rigidez devem situar-se próximo ao centro de rigidez da planta.

3.14 Recomendações para pré-dimensionamento

Abaixo, na Tabela 1, apresentam-se valores de vãos máximos recomendados e um pré-dimensionamento da espessura de diferentes soluções de lajes.

Tabela 1 – Pré-dimensionamento.

TIPO DE LAJE	VÃO MÁXIMO	ALTURA h
Laje plana lisa maciça	8m	$L/40$
Laje plana lisa maciça com capitéis	10m	$L/40 \leq h \leq L/45$
Laje plana nervurada com capitéis	13m	$L/35$
Laje plana nervurada com viga chata unidirecional	15m	$L/30 \leq h \leq L/40$
Laje plana nervurada com viga chata bidirecional	17m	$L/35 \leq h \leq L/50$
Laje maciça com viga chata unidirecional	14m	$L/35$

$L =$ vão da laje e $h =$ altura da laje

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego de qualquer tecnologia ou sistema construtivo exige que todos os profissionais envolvidos tenham o domínio de suas potencialidades e recursos.

Para o uso de lajes planas protendidas apoiadas diretamente sobre pilares, o projetista da forma, que concebe a edificação, necessita de observar algumas particularidades do sistema com o intuito de elaborar projetos coerentes sob o ponto de vista técnico e financeiro.

O material apresentado neste trabalho, resultado de uma ampla pesquisa bibliográfica e de análises de projetos arquitetônicos e estruturais, tem sido de grande valia em conteúdo de disciplinas da área de estruturas e com enfoque projetual.

A discussão de questões que potencializam as vantagens desse sistema e que interferem diretamente no processo de criação, realizada desde o início do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da Univali, tem gerado um aumento significativo do número de projetos desenvolvidos com essa solução estrutural.

O movimento de trazer para os alunos essas orientações possibilita fomentar essa tecnologia no Brasil e, em particular na região de Balneário Camboriú, visto que se trata, inegavelmente, de uma potência em construção civil.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118 (NB1) – Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.



ALMEIDA FILHO, Fernando Menezes de Almeida; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Escola de Engenharia de São Carlos. Estruturas de pisos de edifícios com a utilização de cordoalhas engraxadas, 2002. 283 p, il Dissertação (Mestrado).

CAUDURO, Eugenio Luiz. Mini-Curso: Prática de execução de edificações protendidas com cordoalhas engraxadas e plastificadas. IBRACON. Bento Gonçalves. RS, 2007.

EMERICK, Alexandre Anozé; Projeto e execução de lajes protendidas, 2002. 119 p.
FERREIRA, Wagner Badke; UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, Centro Tecnológico Estudo de desempenho e critérios de abordagem para lajes lisas parcialmente protendidas com armaduras ativas não aderentes, 2013. 155 p, il Dissertação (Mestrado).

MOURA, José Ricardo Brígido de; Recomendações para sistemas estruturais em edificações com a utilização de protensão com cordoalhas engraxadas. Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural. Brasília: UNB, 2002.

NASCIMENTO, A. V. do. Concreto Protendido: O uso da protensão não aderente em edifícios comerciais e residenciais. 2004. 88p. (Graduação em Engenharia Civil) – Curso Superior em Engenharia Civil com ênfase Ambiental, Universidade Anhembí Morumbi.

PASSOS, V. M., FEITOSA, L. A., ALVES, E.C., AZEVEDO, M. S.; Análise da instabilidade de edifícios altos com lajes protendidas e lajes nervuradas. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, Espírito Santo, v.9, n.2, p. 244-262, 2016.

PFEIL, W. Concreto Protendido. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1985.

SCHMID, Manfred Theodor. Lajes Planas Protendidas. 3ª ed. Publicação Técnica – Rudloff Industrial Ltda, 2009. 30 p.

SILVEIRA, Marcelo A. A.; Práticas de projeto e execução de edifícios protendidos. 49º Congresso Brasileiro de Concreto, Bento Gonçalves/RS, 2007.

ZILLI, Elizandro, BORTOLOTTI, Franchubert; UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Departamento Acadêmico de Construção Civil. Estudo comparativo entre uma estrutura com laje convencional em concreto armado e uma estrutura com laje plana lisa protendida: estudo de caso de um edifício residencial multifamiliar na cidade de Pato Branco - PR, 2013. 133 p, Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil.

RECOMMENDATIONS FOR ARCHITECTURAL PROJECTS CONCEIVED WITH THE STRUCTURAL SYSTEM OF PRESTRESSED FLAT SLABS

Abstract: *Considering the current scenario of economic recession, the construction sector is undergoing a process of adaptation and modernization, in which construction companies seek new methods and execution processes that increase the productivity of services and reduce the cost of the projects. In addition, there is a tendency to offer apartments with layout flexibility, allowing the client to customize it according to their identity and lifestyle. One*

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção





solution that offers greater productivity and architectural flexibility is the use of prestressed flat slabs. This system has been used in the United States and Europe for more than 60 years, and in Brazil its application has been growing, mainly in the northeast and southeast of the country. In the southern region, it can be seen that, almost entirely, the projects are conceived in reinforced concrete molded 'in loco'. In the graduate courses in architecture there are few projects developed with prestressed flat slabs and, consequently, there are few architects who dominate this technology. In this context, it was observed the need to explore more about this subject in the Course of Architecture and Urbanism of the Universidade do Vale do Itajaí. In this paper, recommendations and general guidelines for architectural projects with prestressed flat slabs are presented and addressed in the disciplines of Structural Systems, Integrated Project and Graduation Final Works of the course. It was observed that this methodology increased the number and quality of the projects developed in the graduation with the structural solution in prestressed flat slabs.

Key-words: Flat Slab Project, Architecture, Teaching-Learning.

Organização



Promoção

