

EXECUÇÃO DE RADIERS PROTENDIDOS

Simplicidade e Economia

*Eng. Civil Eugenio Luiz Cauduro
Cia. Siderúrgica Belgo-Mineira*

RESUMO

Pavimentos e pisos industriais e comerciais protendidos são feitos no Brasil há mais de 30 anos, tendo sido utilizadas as tecnologias da protensão aderente com bainhas metálicas, e não aderente com bainhas de papel e betume.

Nos Estados Unidos, a tecnologia adotada desde o início da aplicação, foi a de cordoalhas engraxadas e plastificadas, método extremamente prático e de fácil aplicação. Num crescimento vertiginoso, hoje é a principal destinação das cordoalhas engraxadas e plastificadas naquele país, superando em 50% o enorme mercado das lajes planas para edifícios (dados do PTI - Post-Tensioning Institute).

Começada a divulgação da tecnologia no Brasil, em um seminário para atualização tecnológica em protensão, para professores das Universidades Federais ocorrido em Embu - SP em julho de 1996, o processo finalmente decolou na cidade de Fortaleza - CE devido ao empenho, estudo e dedicação de engenheiros locais - sempre pioneiros em novas tecnologias.

Após testes acompanhados por laboratório, a Caixa Econômica Federal aprovou a utilização de lajes radiers nas fundações de conjuntos habitacionais populares, por sua simplicidade, rapidez e segurança. A construtora vencedora da primeira licitação alterou seus planos iniciais de executar as fundações pelo processo tradicional, e adotou o novo processo por suas flagrantes vantagens técnicas e econômicas.

Na mesma Fortaleza já foram executadas as primeiras fundações tipo radier protendido com cordoalhas engraxadas, para edifícios residenciais de 2, 7, 12 e 15 andares.

HISTÓRICO

Em 1996 tivemos a oportunidade de conhecer os radiers protendidos utilizados nas construções de casas e edifícios residenciais e comerciais dos Estados Unidos.

Um consultor americano, falando sobre o desenvolvimento do mercado de cordoalhas engraxadas e plastificadas, foi muito enfático sobre o assunto, ao mencionar que 80% das construções residenciais que não utilizam porões, nos Estados Unidos, eram feitas sobre radiers (S.O.G. – “Slab On Ground”) protendidos com cordoalhas engraxadas e plastificadas – os chamados cabos monocordoalhas, onde cada cordoalha é fixada por uma só ancoragem em cada extremidade

O PTI – “Post-Tensioning Institute”, Instituto norte-americano que congrega centenas de empresas e profissionais envolvidos na pós-tração, publica regularmente estatísticas referentes ao uso da pós tração nos mercados americano e canadense. – ver quadro a seguir –

POST-TENSIONING INSTITUTE TONNAGE STATISTICS U.S. POST-TENSIONING STEEL TONNAGE - 1972 THROUGH 1998 * (Equivalent Tonnage of 1/2" Diameter 270k Strand)						
YEAR	BUILDINGS	BRIDGES	NUCLEAR	EARTHWORK	S-O-G MISC.	TOTAL
1972	23,721	7,182	6,118	939	166	38,126
1973	21,809	9,228	3,244	785	— 422	35,488
1974	23,560	10,056	2,770	3,111	235	39,732
1975	11,994	7,954	2,135	1,942	1,893	25,918
1976	6,492	4,668	1,510	897	— 3,932	17,499
1977	9,188	3,232	1,642	1,403	6,063 494	22,021
1978	15,044	5,184	2,588	1,325	9,900 533	34,574
1979	18,258	10,242	3,442	1,631	11,571 130	45,274
1980	24,045	3,827	3,360	1,749	9,441 613	43,035
1981	23,936	4,337	3,000	3,391	12,359 520	47,543
1982	25,075	5,417	3,936	1,687	10,243 385	46,743
1983	26,284	1,152	2,302	2,618	11,257 537	54,150
1984	35,162	10,607	2,836		11,477 945	61,027
1985	40,367	15,619	1,446	2,940	9,730 693	70,795
1986	34,139	13,058	1,319	3,647	11,153 338	63,654
1987	32,392	14,416	4	2,515	8,679 591	58,597
1988	36,884	12,589	5	3,264	8,494 582	61,818
1989	38,474	14,220	3,245	5,969	107	62,015
1990	39,350	14,997	—	3,307	6,975 392	65,021*
1991	26,117	19,663	2,202	13,569	1,033	2,584*
1992	18,203	20,414	—	5,494	21,050 1,499	66,660*
1993	20,304	14,107	5,445	23,863	987	64,706*
1994	19,814	21,112	6	5,480	30,164 3,286	79,862*
1995	18,964	24,718	6,508	28,133	3,737	82,027*
1996	19,886	27,113	—	6,019	35,545 6,183	94,746*
1997	27,716	18,297	—	3,974	42,795 2,224	95,006*
1998	40,745	18,508	—	6,666	52,214 996	119,129*

*Includes Canadian tonnage and confirmed estimates of non member tonnage.

As colunas: "Buildings" – que representa os edifícios com vigas ou com lajes planas protendidas, e "S-O-G" - das lajes apoiadas no solo, são campo da protensão não aderente – monocordoalha engraxada e plastificada.

Os números de 1995 já diziam que o mercado de radiers era o dobro do mercado de prédios protendidos, o impressionante número de 36.000 toneladas no ano. O crescimento desse mercado desde o início dos registros (1977) foi enorme, passando de 6.000 t/ano para 52.000 t/ano em 1998.

A extensão da estatística mostra que esse mercado iniciou seu desenvolvimento na região sudoeste dos Estados Unidos, da Califórnia ao Texas. Essa região possui grande incidência de solos expansíveis, que com o aumento da umidade se expande, levando a quebras das lajes armadas comuns. A partir do sucesso da utilização dessa técnica naquela região, seu uso expandiu-se por todo o país, atingindo o Canadá.

NO BRASIL

▪ **Residências**

Processo tradicional de fundações de casas

No processo tradicional no Brasil, de fundações para residências, faz-se a demarcação à volta da área; escavação (valeta) sob todas as paredes retirando-se a terra manualmente; colocação de concreto no fundo da vala; levantamento de base de tijolos de largura maior que a das paredes até o nível adequado, colocação de fôrmas laterais, armação e concreto sobre todas as bases, formando a "cinta", impermeabilização da cinta; reatêrro manual e finalmente apiloamento manual.

Todos esses trabalhos em área de 300 m², podem demorar de 5 a 7 dias para serem executados.



Escavação e nivelamento das valas



Base de alvenaria de tijolos



Alvenaria, forma, cinta e reatêro manual



Reatêro apiloado, antes do contrapiso (5cm)

Depois de tudo pronto, quebram-se o contrapiso e as paredes, escavam-se novamente para colocação das canalizações de água e esgoto, e recompõem-se as partes quebradas.

Novo processo de fundações de casas – lajes radier protendidas com cordoalhas engraxadas e plastificadas

Os trabalhos para construção de lajes radier são os seguintes: limpeza e preparo do terreno, colocação das canalizações, colocação de filme plástico, formas laterais, cordoalhas com suas ancoragens e fretagens, concretagem, alisamento mecânico e, após três dias, protensão. No dia seguinte à concretagem, já se pode fazer a marcação da alvenaria.

Merece registro a primeira laje radier protendida com cordoalhas engraxadas e plastificadas no Brasil. Com projeto do eng.º Ricardo Brígido, foram construídas duas lajes apoiadas no solo para receber 2 casas assobradadas cada uma, na praia do Cumbuco, em Fortaleza (foto à direita)



As primeiras utilizações em grande escala de raders protendidos com monocordoalhas não aderentes no Brasil ocorreram em Fortaleza-Ceará, num esforço conjunto de Empresa de Protensão e do escritório de projetos estruturais M. D. Associados.



Preparo do terreno: acerto manual, colocação das tubulações de água e esgoto e formas laterais

Foi produzida laje experimental protendida para comprovação da sua eficiência junto à Caixa Econômica Federal, a qual iniciava financiamento de extenso programa de construção de casas populares. A construtora que havia vencido a primeira concorrência para construção de 1.340 casas, mudou o planejamento da obra, inicialmente previsto para fundações convencionais, e adotou o radier protendido, pois suas vantagens quanto à simplicidade, prazo, extrema redução da mão de obra facilitando a logística, e a entrega com piso acabado, fizeram baixar seus custos e aceleraram a execução da obra. Além disso, devido à impermeabilidade própria da laje protendida, foi dispensada a operação de impermeabilização da obra



Engrossamento das bordas e colocação de filme plástico para isolamento

Cabos estendidos sobre o plástico, apoiados sobre pastilhas de argamassa. Laje pronta para receber o concreto. Note-se a ausência de qualquer outro tipo de armação

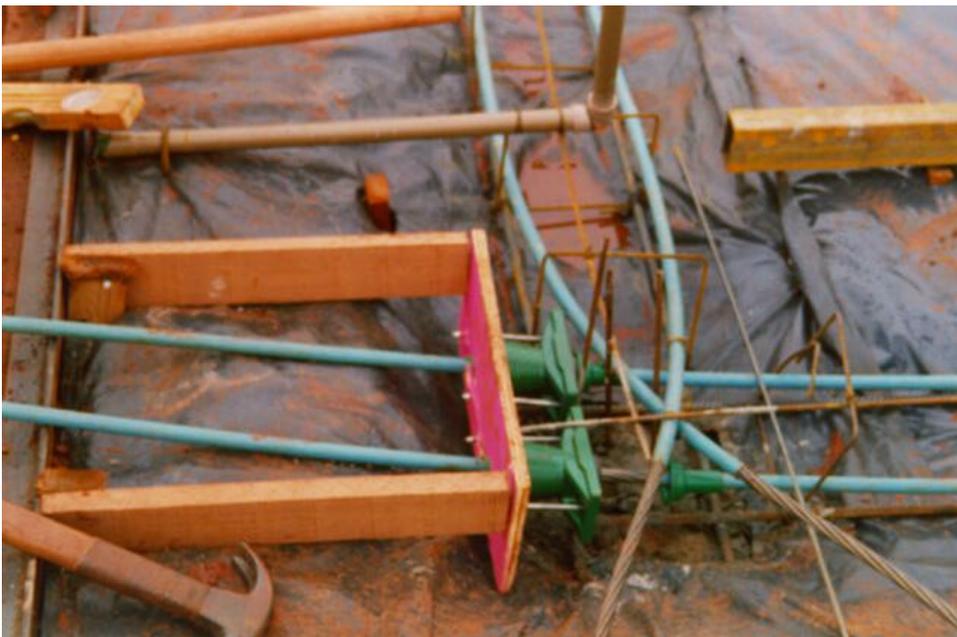


Alvenaria sobre a laje protendida. As casas foram entregues com a laje de concreto acabada e nivelada. Revestimento de piso será aplicado pelo morador, se julgar necessário

Após o primeiro conjunto habitacional da Paupina (1.340 casas)(acima), foram construídos até abril de 2000, os conjuntos da Lagoa Redonda (700 casas) e Itaperi (500 casas).

Em Londrina, Paraná outro grupo associou-se em 1.999 para a construção de casas populares. O Eng.º Márcio Queiroz projetou as lajes. Nesse projeto a protensão ocorreu nas nervuras da laje, cavadas no terreno. O solo colapsível da região reuniu condições mais favoráveis ainda para a escolha desse tipo de laje.

Cabos colocados nas nervuras cavadas no terreno



Detalhe das ancoragens em nicho junto a outra laje à esquerda

Outra obra pioneira no Brasil foi a construção em Fortaleza, do primeiro radier protendido com cordoalhas engraxadas e plastificadas, para edifício residencial de grande altura, em agosto de 1999.



Montagem das cordoalhas na laje, vendo-se os capitéis sob os pilares. Foram usadas 3 ton. de cordoalhas, em laje de aprox. 300 m².

A laje foi construída com espessura de 50 cm, contendo pequenos capitéis sob os pilares mais carregados, com espessura de 80 cm. O eng.º Paulo Cunha estudou o assunto e projetou a fundação em radier do Edifício Evidence (residencial), de 14 pavimentos. A simplicidade, o baixo custo e a rapidez na execução determinaram a mudança do projeto original que previa a tradicional fundação profunda.

A foto a seguir é da terceira laje radier construída com essa tecnologia no Brasil, também em Fortaleza, para edifício residencial de 25 andares – concretagem em abril de 2.000.



▪ Pisos comerciais e industriais

Há muitos anos se constroem radiers, pavimentos e pisos industriais e comerciais protendidos no Brasil, com a tecnologia da protensão com aderência posteriormente desenvolvida. A popularização dessa utilização, no entanto, não havia acontecido.

- Em Campo Limpo Paulista (SP), em fevereiro de 2.000 uma empresa iniciou a construção do primeiro piso de câmara frigorífica, utilizando laje protendida com cordoalha engraxada e plastificada.

A necessidade era um piso sem juntas, com área de 320 m² para receber carga de 5.000 kg/m². Incluindo o preparo do terreno e a operação de protensão, em 7 dias o piso ficou pronto para uso.

Essa mesma empresa está construindo galpões comerciais com lajes radier que substituem até as estacas cravadas para fundações, apoiando os pilares dos galpões. Além do custo, a grande vantagem desse processo é que o primeiro elemento estrutural da obra a ficar pronto é o piso, o que permite que todas as demais fases da construção sejam feitas sobre piso seco e não mais sobre a terra ou barro.

- Em Curitiba está sendo construído piso industrial para uma grande fábrica de bebidas, para estocagem de caixas cheias de refrigerantes (500kg/m²) mais circulação de carretas classe 30 (5 t concentradas). Como se trata de carga móvel, o cálculo passa a ser de 7 t/m². Projeto da Trecom, de Curitiba



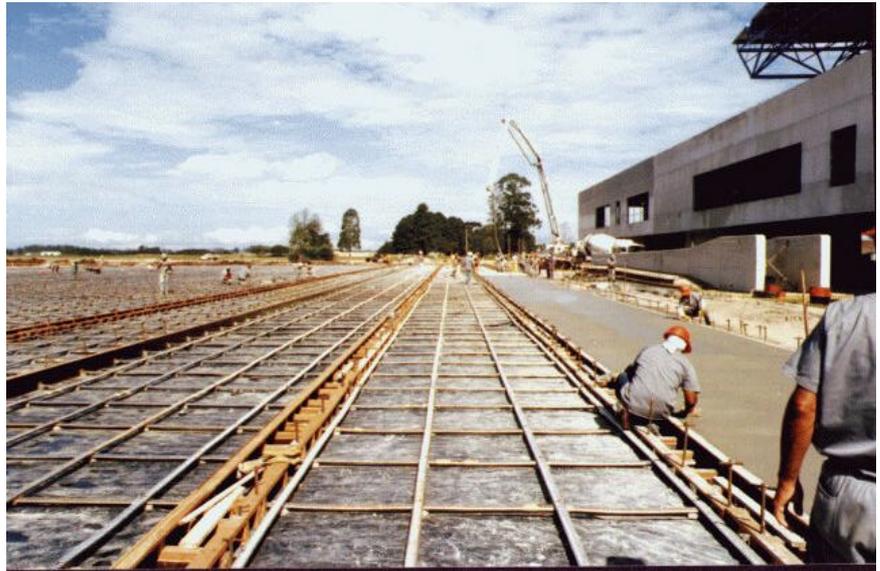
O piso tem 15 cm de espessura e mede 46,60m de largura por 63,35m de comprimento, aumentado para 81,20m em 12,27m de largura. Foi concretado em faixas alternadas, de 46,60 m x 4,00m, o que se mostrou muito prático para o acabamento do concreto.

▪ Aeroportos

O pátio de estacionamento de aeronaves do Aeroporto Afonso Pena, de Curitiba, PR, foi construído em 1998 com lajes protendidas com cordoalhas aderentes. O projeto, do eng. Manfred Schmid definiu 4 lajes de 64 metros de largura e comprimentos diversos: 44m, 60m, 116m e 1.116m, cada laje sem juntas de dilatação. Hoje em uso, apresenta-se como um pátio visualmente claro e agradável, totalmente sem fissuras, trincas ou rachaduras.

Aeroporto Afonso Pena –
Curitiba – PR.

Concretagem de uma
faixa, preparo da junta de
construção, bainhas
colocadas, prontas para a
concretagem.



As juntas existentes ao final desses grandes panos de laje são de maior envergadura e de funcionamento bem definido.

Em Porto Alegre, está sendo construído (abril de 2.000) o pátio de estacionamento de aeronaves do Aeroporto Salgado Filho, totalmente protendido com as monocordoalhas não aderentes. São lajes muito grandes, chegando a 150 m x 60 m (9.000 m²) sem juntas de dilatação, o que é altamente desejável pois, como sabemos, as juntas são o ponto fraco das lajes.

O projeto do eng. Omar Hamaoui, de Londrina, com consultoria do eng. Carlos de Sá Leal, de São Paulo, escolheu essa tecnologia por sua simplicidade, economia e praticidade.

EXECUÇÃO DAS LAJES RADIER PROTENDIDAS - Prática

▪ Preparação do local

O projeto da laje deve ter levado em conta o conhecimento geotécnico do local.

A área deve estar limpa de todo e qualquer material orgânico.

O material de enchimento, para eventual elevação do nível do solo, deve ser adequadamente compactado, assim como o solo próximo, conforme projeto, para a obtenção da resistência adequada.

Caso necessário, deve-se efetuar drenagem no entorno da base.

Nervuras centrais ou engrossamentos de borda da laje devem ser cavadas no solo e mantidos limpos até o momento da concretagem.

Formas fixadas ao terreno, com as ancoragens ativas presas a elas, e cabos estendidos prontos para a concretagem. Note-se a ausência de filme plástico



Fôrmas de borda da laje devem ser posicionadas no nível do projeto e fixadas adequadamente para evitar sua movimentação quando da concretagem, e ser suficientemente fortes para suportar as ancoragens dos cabos de protensão.

Em seguida as instalações hidráulicas embutidas devem ser instaladas, deixando-se suas extremidades atravessando a laje. Deve-se evitar a passagem vertical das canalizações através das nervuras. Se isso for necessário, deve-se prever vergalhões de reforço adicionais nas nervuras. As instalações hidráulicas devem ser isoladas para evitar aderência com o concreto.

É aconselhável a colocação de filme plástico ($e = 0,15 \text{ mm}$) sobre a base para evitar a perda de água do concreto quando do seu lançamento, aumentar a impermeabilidade, e diminuir o atrito da laje com a base, agindo juntamente com uma camada de areia. Além da diminuição do atrito, a camada de areia (5 a 10 cm) serve para quebrar o efeito capilar da base.

Deve-se cuidar para que o filme plástico não venha a se sobrepor à armadura de protensão por efeito de vento, de forma que possa provocar o surgimento de vazios na laje durante a concretagem.

▪ Colocação dos cabos

Quando uma cordoalha tem suas extremidades presas a ancoragens que admitem somente uma cordoalha, chamamos o conjunto de cabo monocordoalha.

Os cabos devem chegar ao local da aplicação já com uma ancoragem firmemente fixada (pré-blocada) em uma de suas extremidades.



Cabos prontos para envio à obra, já com uma ancoragem firmemente fixada (pré-blocada) a uma das extremidades da cordoalha.

Devem ser estendidos em ambas as direções e serem suportados por cadeiras especiais com alturas adequadas, ou por “bolachas” de concreto de resistência suficiente.

Radier pronto para concretagem, vendo-se capitel sob pilar, e bolachas de concreto para suporte das cordoalhas.



As ancoragens pré blocadas podem ser fixadas através de pregos longos ou arame recozido à forma, tomando-se o cuidado de garantir recobrimento de 20 mm de concreto entre a face da forma e a ponta da cordoalha que sobressai da ancoragem.

Para posicionar as ancoragens ativas, fura-se a forma na posição de projeto, com broca de 12,7 mm. Nos furos coloca-se o bico cônico da fôrma plástica para nicho, que acompanha a ancoragem. Coloca-se a ancoragem fundida no bico cônico da fôrma plástica e prega-se a ancoragem na fôrma de borda da laje, ficando a fôrma plástica para nicho entre as duas.

*Ancoragem fixada à forma.
Entre elas, a forma plástica
para nicho.*

*Cordoalha já sem capa
plástica, passando pela
ancoragem, forma plástica
para nicho e forma de borda
da laje.*



Coloca-se, então, a cordoalha através dos furos da ancoragens e fôrmas, após ter sido cortada e retirada a capa plástica da cordoalha no comprimento suficiente. Se requerido pelo projeto, coloca-se um tubo sobre a cordoalha até a ancoragem, para proteção de eventual parte da cordoalha que tenha ficado exposta após o corte da capa plástica da extremidade ativa.

▪ **Conclusão**

Somente a diferença de tempo de execução entre o sistema de fundações tradicional e o de laje radier protendida já pode indicar a escolha do tipo de fundação. Além disso, o menor volume de mão de obra empregada e os custos são fatores que vão definir sem dúvida a escolha da laje radier como a fundação mais adequada às residências, quando as condições geométricas permitam.

As outras fundações, pisos e pavimentos têm custos sempre muito menores que as soluções tradicionais, além de ganhos de tempo e menor volume de mão de obra empregada.

Na "descrição dos serviços" foram detalhadas as operações necessárias para execução dessas lajes, mostrando sua extrema simplicidade e praticidade. A capa plástica da cordoalha, de polietileno de alta densidade tem resistência muito grande, possibilitando um o manuseio simples e despreocupado.

Caminhão usando como acesso à área de concretagem o próprio local onde já estão espalhadas as cordoalhas Não é a solução mais desejável, mas mostra a resistência da capa plástica das cordoalhas.



Pelo volume de obras já executadas em três anos, desde que foi lançada a cordoalha engraxada e plastificada no mercado brasileiro, está se desenhando que a solução protendida para radiers, pisos e pavimentos já ocupa posição importante, e deverá ganhar um lugar de destaque no mercado brasileiro, assim como já acontece no mercado norte americano.

Referências

- "Design and Construction of Post - Tensioned Slabs-on-Ground", 2nd Edition, Post-Tensioning Institute, Phoenix, Arizona, 1996.
- "Specification for Unbonded Single Strand Tendons" – Post-Tensioning Institute, Phoenix, Arizona, July 1993.
- "Construction and Maintenance Procedures Manual For Post-Tensioned Slab-on-Ground Construction", 2nd Edition, Post-Tensioning Institute, Phoenix, Arizona, 1998
- "Roteiro para cálculo de laje plana – Carlos de Sá Leal – nov./1999
- Artigo "Em favor da leveza" – Revista Técnica, jan/97
- Reportagem "Os leves puxam o mercado" – revista Técnica, /99