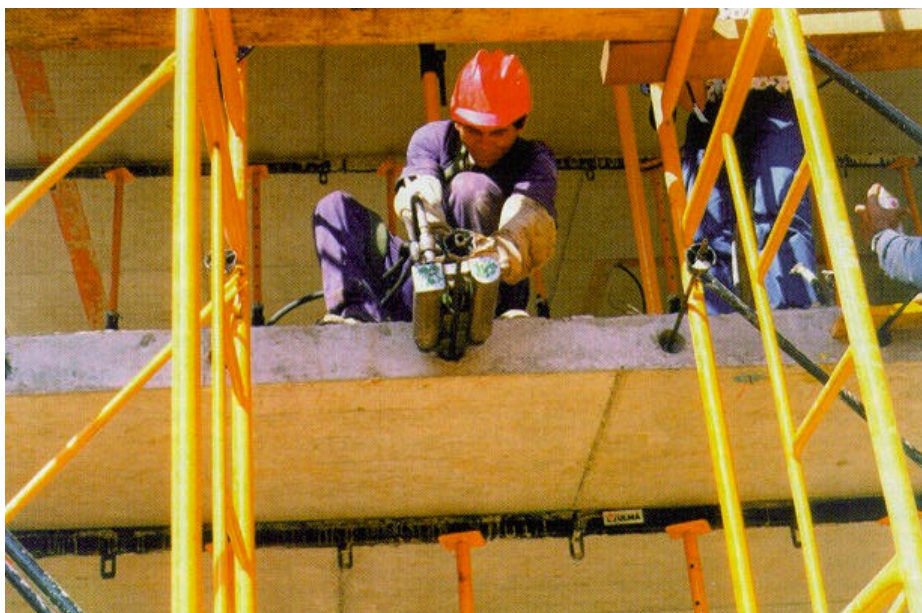


# PROTENSÃO



## Os leves puxam o mercado

Há menos de três anos no Brasil, a protensão com cordoalhas engraxadas e plastificadas – a chamada Protensão leve -já tem seu lugar assegurado em diversas obras, beneficiadas pela rapidez e simplicidade do sistema

*Reportagem: Paulo Kiss*

**A** pesar dos quase 30 anos de atraso, a protensão não aderente com cordoalhas engraxadas e plastificadas – a chamada protensão leve – vem se disseminando rapidamente no Brasil. Surgida no final da década de 50, nos EUA, como alternativa de operação fácil e de baixo custo, a protensão não aderente com cordoalhas deu novo impulso à tecnologia de projeto e execução de estruturas de concreto. No início, o sistema teve papel fundamental na indústria de pré-fabricados, mas seu leque de aplicações não parou de crescer. Hoje, mostra-se uma das soluções mais competitivas no campo da protensão em lajes. A protensão não aderente segue os mesmos princípios da protensão convencional: aplicados às peças estruturais submetidas a cargas leves, os cabos são tracionados com auxílio de macacos hidráulicos portáteis e ancorados nas extremidades da peça sobre o concreto com uma parcela da sua resistência final. “A superposição das cargas de utilização com as cargas introduzidas pela

protensão resulta em um aproveitamento mais adequado e por isso mais econômico dos materiais estruturais”, define o engenheiro Marcos Caracas, da Impacto Protensão.

A novidade acabou chegando por aqui no princípio de 1997, quando a Belgo-Mineira resolveu apostar no segmento, instalando na sua unidade industrial em Belo Horizonte o equipamento para extrusão das cordoalhas. Segundo Eugênio Cauduro, da Belgo-Mineira, o sistema foi usado de forma pioneira em São Paulo, nas obras da garagem subterrânea do Hospital das Clínicas (primeiro projeto) e em seis estações retransmissoras da Telesp, pela Mac Protensão. De lá para cá as obras se multiplicaram. Particularmente, o sistema encontra hoje grande aceitação na cidade de Fortaleza. Além dos diversos edifícios projetados na cidade nos últimos dois anos, soma-se agora um conjunto habitacional de 3 mil casas populares, que utilizam a protensão não aderente em radiers de fundação (leia box).

## A necessidade faz a obra

Pode-se dizer que uma das razões do crescente uso da protensão não aderente em obras de edifícios tem relação direta com a possibilidade de obtenção de vãos maiores, devido à necessidade de aproveitamento mais racional ou otimizado dos espaços criados. Essa opção traz, de imediato, grande flexibilidade na planta arquitetônica.

O sistema veio ao encontro das necessidades da Caltech Engenharia nas obras do edifício Ancoradouro, no bairro de Mucuripe, Fortaleza. O edifício possui 18 andares-tipo e uma cobertura. Localizado em uma região à beira-mar, com limitação de gabarito devido ao farol marítimo, era preciso tirar o máximo partido do terreno, respeitando-se as características do empreendimento, cujo layout exigia grande flexibilidade e salas amplas. Além disso, o empreendimento exigia vagas maiores de garagem.

A construtora optou por uma modulação máxima de vãos da ordem de 10 m, utilizando lajes nervuradas com fôrmas plásticas. As cordoalhas são posicionadas em faixas nas direções definidas pelos pilares, restando para a área de laje entre essas faixas somente armadura passiva. A laje, nas seções maiores de nervura, apresenta 25 cm de espessura. Optou-se nesta obra por um concreto de  $f_{ck}$  30 MPa, para garantir maior durabilidade em um ambiente agressivo como o do litoral. Metade das cordoalhas foi protendida quatro dias depois da concretagem, aplicando-se 15 t em cada uma. A segunda fase de protensão era executada três dias depois da primeira operação, concomitante com a montagem das fôrmas do pavimento seguinte. “Esse processo nos permitiu avançar três lajes por mês sem horas extras do pessoal”, explicam Marcelo Silveira e Denise Silveira, da MD Engenheiros, que respondem pelo projeto estrutural. “Toda a protensão é feita por apenas dois homens, pois o macaco é de fácil operação e bastante leve”.

## NO POPULAR

Vem de Fortaleza a primeira experiência no Brasil de utilização em larga escala de protensão não aderente em habitações. Na capital cearense, está em andamento a construção do primeiro lote de 1.328 casas populares que empregam cordoalhas engraxadas como armadura de protensão de radiers. Ao todo serão 3 mil casas. A obra está sendo executada pela construtora Monteplan. São casas geminadas e sobrepostas com 29 m<sup>2</sup> cada. A concretagem de radier foi iniciada em janeiro deste ano e mais de 60% das casas já estão concluídas.



A execução dos radiers nesta obra é precedida pela terraplanagem do terreno. Em seguida são abertas valas de 20 cm de profundidade, 10 cm de largura na parte inferior e 15 cm de largura na parte superior, formando um “engrossamento” da borda que circunda o radier (vigamento de borda). Embutidas as tubulações no solo e feita a regularização da superfície, toda a área preparada é coberta com lonas plásticas para evitar a perda de água do concreto. Entram então em cena as cordoalhas, dispostas ortogonalmente, obedecendo sempre a distância de 1,20 m entre os cabos. Nos cruzamentos, as cordoalhas são apoiadas em suportes de 32 mm de altura e 10 cm de diâmetro, garantindo assim o posicionamento na metade da altura da laje. Uma vez fixadas as ancoragens ativas nas fôrmas, a laje já está pronta para ser concretada. A Monteplan vem utilizando nos radiers concreto de 25 MPa.

A protensão dos cabos é feita depois de quatro dias ou quando a resistência do concreto atinge pelo menos 20 MPa. Em cada cabo são aplicadas 13,5 tf. O uso de armadura passiva fica restrito apenas à fretagem atrás da ancoragem de pretensão. “O processo todo é muito rápido”, diz Marcelo Silveira, da MD, responsável pelo cálculo estrutural. A produção média diária equivale ao radier de 16 casas. As lajes são acabadas mecanicamente com acabadoras de hélices do tipo “helicóptero”. De acordo com a Monteplan, a substituição do processo tradicional de execução de fundações diretas por radiers protendidos com cordoalhas permitiu reduzir de 400 para 175 o número de homens necessários nessa etapa da obra.







**EDIFÍCIO ANCORADOURO, EM FORTALEZA**  
O prédio de 18 pavimentos-tipo, erguido pela Cátech, exibe suas curvas em lajes nervuradas pretendidas

### De olho no custo

A rapidez e a facilidade da protensão não aderente levaram a Construtora Taj Mahal, de Santos-SP, a uma mudança no projeto do edifício Valery 2. O prédio teria estrutura convencional, solução idêntica à do vizinho Valery 1, da mesma empresa, cuja estrutura estava parcialmente concluída. Por sugestão do engenheiro Carlos Leal, projetista da obra, o segundo prédio recebeu uma laje maciça de 14 cm protendida com cordoalhas engraxadas, o que permitiu a eliminação de todas as vigas previstas originalmente, inclusive na interface com a escada.

O Valery 2, edifício de 12 pavimentos com apartamentos de um e dois quartos, possui uma planta aproximadamente retangular, com vãos entre pilares de 5 m e 6 m e varandas em balanço com cerca de 1,5 m. As características do projeto, segundo a construtora, casaram-se bem com a solução. “A previsão é de uma redução de custo de cerca de 20%”, afirma Luiz Pires, da Taj Mahal. Essa redução, segundo ele, é atribuída à rapidez da construção e à economia em acabamento, graças à precisão de medidas e prumo que a estrutura proporciona.



**EDIFÍCIO SEDE DO SESC FORTALEZA**  
Lajes nervuradas com armaduras passivas e protensão concentrado nas faixas dos pilares. Concreto de 25 MPa o cordoalhas Individuais protendidas com 15 tf. Projeto estrutural MD

Por questões de custo e novamente por sugestão do engenheiro Carlos Leal, a construtora JHM também aceitou rever o projeto de um dos seus edifícios em São Paulo. Localizado na rua Bahia, bairro do Pacaembu, o edifício previa estrutura em concreto com lajes maciças de 22 cm. O projeto foi revisto e optou-se por uma laje nervurada em concreto protendido com cordoalhas não aderentes em todos os pavimentos-tipo. Com o novo projeto, as lajes apresentam espessura média de 14 cm com taxa de 4,8 kg de cordoalha por m<sup>2</sup>. Com isso, estima-se que o custo da estrutura possa ser reduzido em 20%, estima Leal. “Vale destacar também que o sistema permitiu reduzir em média dois dias no ciclo de execução de cada laje”, afirma o engenheiro.

## Megaprojetos

Seguem em Brasília as obras do Caesar Towers Alvorada, conjunto de flats e hotéis a cargo da construtora Paulo Otávio. Trata-se do maior conjunto de edifícios com estruturas protendidas em execução no Brasil. O consumo de armadura de protensão deve chegar a quase 440 t. Os edifícios são constituídos de lajes planas protendidas combinadas com lajes nervuradas protendidas nas coberturas de garagens.

Segundo a construtora, as vigas atrapalhariam a passagem dos dutos de ar-condicionado, incêndio e de outros subsistemas. Além disso, a solução permitiria

reduzir a altura dos prédios, com ganhos no processo executivo. Na obra, foram utilizadas apenas lajes planas com fôrmas estruturadas com treliças de alumínio (fôrmas voadoras). O projeto de protensão foi elaborado pela Impacto, empresa de Fortaleza e uma das pioneiras na utilização do sistema no Brasil. Além dos flats e do hotel, a construtora Paulo Otávio está utilizando a protensão não aderente nas obras do Shopping Caesar Park, também em Brasília. Trata-se de um shopping de utilidades domésticas, cuja estrutura prevê a distribuição concentrada de protensão na direção dos pilares e lajes nervuradas convencionais. A área total de construção é de 25 Mil m<sup>2</sup>.



**EDIFÍCIO NO PACAEMBU, EM SÃO PAULO**

Prédio construído pela JHM na rua Bahia: detalhes da disposição dos cabos de protensão e da faje nervurada com espessura média de 14 cm, que substituiu a laje maciça do projeto original



## Cuidados e limitações

O sucesso do concreto pretendido com cordoalhas engraxadas depende do entrosamento e trabalho conjunto de todas as equipes que intervêm para a elaboração do projeto global do empreendimento. Para a viabilidade desta solução, contudo, é importante que a arquitetura facilite a disposição das ancoragens, ocultando-as com materiais de revestimento ou até tirando partido delas como elemento de acabamento. É necessário também que se encontrem locais para disposição dos elementos verticais de rigidez, de forma a garantir a estabilidade

global da estrutura.

Não existem interferências para o encaminhamento horizontal das instalações do edifício – sejam hidráulicas, de incêndio ou elétricas. A coordenação dos projetos deve, no entanto, atuar no sentido de otimizar a disposição das passagens verticais de todas as instalações nas lajes, de forma que a passagem de shafts não venha a provocar regiões de grandes concentrações de esforços, o que se traduz por maior consumo de armaduras.



### **Universidade do Sagrado Coração, em Bauru-SP**

Conjunto com área total construída de 30 Mil m<sup>2</sup> composto de salas de aula, laboratórios e um auditório. A estrutura possui lajes maciças protendidas de 22 cm de espessura e capitéis de 40 cm. O vão característico é de 8,40 m com balanço de cerca de 4 m em toda a periferia. A espessura maior da laje deve-se aos balanços e à sobrecarga permanente para enchimento do piso, por onde passam todas as instalações, Projeto estrutural: Carlos Leal Engenheiros Consultores



### **MATERIAIS E EQUIPAMENTOS**

A protensão de baixa densidade utiliza monocordoalhas de sete fios com diâmetro total de meia polegada. A cordoalha, previamente engraxada, é envolta em uma bainha plástica extrudada de forma contínua e hermética. Dessa forma, o sistema permite a protensão mais fácil do cabo, evitando ao mesmo tempo a corrosão. As características do sistema dispensam a utilização de bainhas metálicas e a injeção de pasta de cimento. As cordoalhas são as mesmas utilizadas na protensão aderente. As características da graxa e da capa plástica são as estabelecidas pelo PTI (Post Tension Institute), entidade que congrega fabricantes, projetistas e empresas de protensão de todo o mundo.

O principal avanço, no entanto, está no sistema inovador de ancoragem, que faz o travamento da cordoalha e distribui as cargas pela peça estrutural. Cada cordoalha leva uma ancoragem pré-encunhada em uma das extremidades (ancoragem passiva), protendendo-se a outra extremidade (ancoragem ativa). Até recentemente, as ancoragens eram um dos principais impedimentos da difusão do sistema. As peças precisavam ser fundidas sob encomenda, seguindo características específicas de projeto. O obstáculo está hoje superado graças ao surgimento de empresas especializadas em acessórios de protensão.

O desenvolvimento de macacos especiais para protensão com dois cilindros paralelos foi outro fator que contribuiu para o avanço do sistema. Encontram-se hoje disponíveis macacos que permitem fazer a protensão da cordoalha, mesmo em locais inacessíveis ao equipamento. Diferentemente dos antigos macacos tradicionais, que possuem um furo central por onde é introduzida a cordoalha, os novos equipamentos efetuam a protensão em qualquer ponto da cordoalha.



### **SHOPPING CAESAR PARK, EM BRASÍLIA**

Obra da construtora Paulo Otávio às margens do Lago Paranoá: distribuição concentrada de protensão na direção dos pilares e lajes nervuradas convencionais

| <b>Características básicas dos sistemas de protensão aderente e não aderente</b>                                                                                                |                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sistema aderente                                                                                                                                                                | Sistema não aderente                                                                                                                                      |
| Usa bainha metálica para até quatro cordoalhas por bainha, em trechos de 6 m com luvas de emenda e vedação                                                                      | Sem bainha metálica. As cordoalhas vêm de fábrica com graxa e bainha contínua.                                                                            |
| O manuseio (enrolar e desenrolar) é feito com quatro cordoalhas ao mesmo tempo (aproximadamente 3,2 kg/m).                                                                      | O manuseio é feito com uma cordoalha por vez (0,88 kg/m).                                                                                                 |
| Concretagem cuidadosa para evitar danos à bainha metálica (abertura da costura helicoidal).                                                                                     | Concretagem sem maiores cuidados, pois a bainha plástica de PEAD é resistente aos trabalhos de obra.                                                      |
| Usa macaco de furo central que precisa ser enfiado pela ponta da cordoalha (aproximadamente 50 cm da face do concreto).                                                         | Usa macaco de dois cilindros que se apóia na cordoalha junto à face do concreto.                                                                          |
| A protensão é feita em quatro níveis de pressão hidráulica, seguidos das respectivas leituras de alongamento, correção da tabela e medida da perda por acomodação da ancoragem. | A protensão é feita em uma só elevação de pressão, pois não há retificação da cordoalha (bainha justa), e não há possibilidade de cabos presos por pasta. |
| Exige lavagem das cordoalhas por dentro para diluição de eventual pasta de cimento que poderia ter entrado e prendido as cordoalhas.                                            | Lavagem desnecessária.                                                                                                                                    |
| A água deve ser retirada por ar comprimido antes da injeção, para não haver diluição da pasta.                                                                                  | Medida desnecessária                                                                                                                                      |
| Usa cimento em sacos para preparo da pasta de injeção, feito com misturador elétrico. A injeção é feita por bomba elétrica.                                                     | Não necessária.                                                                                                                                           |

**Fonte: Belgo-Mineira**

## Levantando a lebre

Uma questão que se apresenta é a garantia da segurança estrutural diante de alguma agressão involuntária às lajes protendidas, seja por usuários da edificação ou mesmo durante uma reforma do prédio. Ou seja, quais as consequências da ruptura de um cabo de protensão? Segundo os especialistas, essa questão não deve ser tratada de forma diferente do que seria em relação às estruturas armadas convencionais. “É muito difícil seccionar uma cordoalha com equipamentos domésticos”, diz o engenheiro Carlos Leal. “Ninguém vai romper uma cordoalha fazendo um furo na laje para pendurar uma planta ou um lustre de pequeno porte.”

No entanto, a possibilidade existe, e segundo Leal ela pode ocorrer principalmente na fase executiva da estrutura. “O rompimento de uma cordoalha pode ocorrer por conduta errada do pessoal de execução. Se isso ocorre por tentativa de abertura de um furo na laje, a primeira ruptura de cordoalha será ouvida pelo funcionário, de forma que só por vandalismo ele continuará fazendo o trabalho sem chamar o responsável, seja o mestre ou o engenheiro da obra”, diz Leal. Neste caso, afirma, o projetista da obra deve ser consultado para tomar as medidas corretivas. No entanto, ele acrescenta que dificilmente a ruptura de uma cordoalha vai comprometer a segurança de toda a laje, “uma vez que o grau de hiperestaticidade da estrutura, aliado ao método de cálculo por verificação por seções, garante a necessária reserva de segurança e de comportamento global”.

## Edifícios da Gafisa no Alto da Boa Vista, em São Paulo



São 11 edifícios de 22 andares com quatro apartamentos de três dormitórios por andar. O projeto inicial, com lajes e vigas de concreto armado, foi alterado para lajes planas (sem vigas) protendidas com cordoalhas engraxadas sem vigas. O fechamento interno emprega chapas de gesso acartonado. A estrutura do primeiro prédio foi iniciada em agosto de 1998 e concluída em janeiro de 1999 ao ritmo de uma laje a cada quatro ou cinco dias. Projeto estrutural: Luiz Roberto Oliveira Pásqua e Francisco Graziano

**Para deixar suas consultas sobre protensão muito mais leves, aqui estão os endereços de todas as empresas citadas nesta reportagem.**

## Endereços

### Instituto

#### Post Tensioning Institute

1717 W. Northern Ave., Suite 114  
85021 Phoenix – Arizona EUA  
Tel.: (602) 870-7540

### Construtoras

#### Caltech Engenharia Ltda

Av. Monsenhor Tabosa, 1341 – Meireles  
CEP 60165-010 – Fortaleza CE  
Tei.: (0xx85) 248 4949

#### Gafisa Imobiliária S/A

Av. Brigadeiro Faria Lima, 1355 – 22º andar  
Pinheiros – CEP 01452-002 – São Paulo – SP  
Tei.: (0xx11) 817 9254 / 3038 9000

#### JHM Construção Ltda.

R. Correia de Mello, 84, SL.606 – Bom Retiro  
CEP 01123-020 – São Paulo – SP  
Tel.: (0xx11) 221 9119 / 220 6338

#### Monteplan Engenharia Ltda.

R. Prof. Mário Rocha, 75 – Joaquim Távora  
CEP 60120-200 – Fortaleza – CE  
Tel.: (0xx85) 991 4409 / 272 5299

#### Paulo Octávio Empreendimentos Imobiliários

Complexo Hoteleiro Alvorada – SHTN – Trecho 01  
Lote 1 B – CEP 70800-100 – Brasília – DF  
Tel.: (0xx61) 321-9900 / 322-8480

#### Taj Mahal Empreendimentos Imobiliários

Av. Osasco, 32 – Havana  
CEP 11704-050 – Praia Grande – SP  
Tel.: (0xx13) 471 3167 / 471 3377

### Projeto Estrutural

#### Carlos Leal Eng, Consult. S/C Ltda.

Av. Angélica 2118 – cj. 14 – Higienópolis  
CEP 01228-200 – São Paulo – SP  
Tel.: (0xx11) 257 1902 / 975 3893

#### Francisco Graziano – Gramont Eng.

Av. Nove de Julho, 5345 – cj. 52 – Itaim  
CEP 01407-200 – São Paulo – SP  
Tei.: (0xx11) 280 3106 / 3064 5178

#### \* MCA Tecnologia de Estruturas Ltda,

R. Aleixo Neto, 1054 SL.202 – Praia do Canto  
CEP 29057-200 – Vitória – ES  
Tel.: (0xx27) 324 5372

#### M. D. Engenheiros Associados S/C Ltda.

R. Dom Expedito Lopes, 2527 – A  
Dionízio Torres – CEP 60135-410 – Fortaleza – CE  
Tel.: (0xx85) 224-8974

#### Santoro Leão e Pásqua Eng. Estr. Ltda.

Luís Roberto Oliveira Pásqua  
R. Desemb. Joaquim B. Almeida, 300  
Alto de Pinheiros – CEP 05463-010 – São Paulo – SP  
Tel.: (0xx11) 3021 9799

### Empresas de Protensão

#### Impacto Protensão Ltda.

Av. Santos Dumont, 2727 – SL.305  
Aldeota – CEP 60150-161 – Fortaleza – CE  
Tel.: (0xx85) 261 4412

#### MAC – Sist. Bras. Protensão Ltda.

R. Caetano de Campos 168 – Tatuapé  
CEP 03088-010 – São Paulo – SP  
Tel.: (0xx11) 6941 8233 / 293 6372

\* Projetista da obra “Ceaser Tower Alvorada”, não mencionado na reportagem.

**www. b e l g o m i n e i r a . c o m . b r**  
**Atendimento ao Cliente: 0800 151221**