

## Tensão aplicada

A execução de estruturas de concreto protendido com cordoalhas engraxadas exige cuidados do recebimento do material no canteiro até a inspeção pós-carga

Por Juliana Nakamura

Edição 185 - Junho/2012

A protensão não aderente com cordoalhas engraxadas e plastificadas é uma técnica destinada à execução de lajes, vigas de concreto e placas de fundações cada vez mais utilizada em edificações residenciais e comerciais. Empregada há pelo menos 50 anos nos Estados Unidos e introduzida no Brasil em 1997, permite maior controle sobre deformações e fissurações e, conseqüentemente, o uso de elementos estruturais de menores dimensões, além de maiores vãos livres, em comparação com as estruturas de concreto armado. Tais características podem se refletir em ganhos econômicos - entre eles, a redução de custos diretos, como o menor consumo de concreto, aço e fôrmas, e indiretos, como menor custo com fundação fruto da estrutura mais leve, melhor aproveitamento do espaço interno e ganho de velocidade na execução da obra.



Etapa mais crítica do serviço é a da protensão em que o aço é submetido a uma tensão de cerca de 80% de sua resistência

Nos últimos anos, a publicação da NBR 14931:2003 - Execução de Estruturas de Concreto - Procedimento trouxe mudanças nessa área. A norma traz em seu anexo C recomendações importantes e regula a operação e o controle da protensão. O engenheiro Roberto Chust Carvalho, professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (Ufscar), explica que, em relação à aplicação, a antiga norma de concreto protendido, de 1982, determinava que para estruturas de pontes ferroviárias ou vigas de pontes rolantes só era admitida protensão com aderência. O concreto protendido sem aderência só poderia ser empregado em casos

especiais e sempre com protensão completa. A revisão da norma brasileira permitiu que a cordoalha engraxada pudesse ser usada normalmente como uma protensão com pós-tração em praticamente todos os tipos de estruturas. "Hoje a protensão com cordoalhas engraxadas vem sendo muito usada na execução de pavimentos de edifícios, tanto na região Sudeste como no Nordeste do País", afirma Carvalho.

"Pisos apoiados no solo, lajes de edifícios com ou sem vigas, vigas de edifícios, assim como outras situações em que não seja necessária grande concentração de forças de protensão, são o melhor campo de aplicação das cordoalhas engraxadas e plastificadas", informa o engenheiro Eugênio Luiz Cauduro, consultor especializado em estruturas protendidas.

### Questão de hierarquia

Em comparação com a protensão aderente - sistema em que se utiliza a cordoalha nua envolvida em uma bainha metálica, normalmente empregado em obras de arte -, a protensão com cordoalha engraxada (não aderente) é de fácil manuseio e execução. Por serem flexíveis, os cabos podem ser fixados sem maiores dificuldades, podendo ser facilmente desviados dos obstáculos. Porém, exigem mais dispositivos de suporte e melhor fixação. Além disso, a cordoalha engraxada dispensa a bainha metálica e a posterior injeção de nata de cimento, característicos do sistema de protensão tradicional.

Mas, como ocorre com outros sistemas construtivos, boas práticas de execução são fundamentais para garantir o desempenho esperado. Segundo o professor Roberto Chust Carvalho, o principal cuidado é seguir fielmente o projeto estrutural, tomando o cuidado de garantir que a trajetória das cordoalhas fique exatamente como a imaginada pelo projetista. Em todas as etapas da execução do concreto protendido, devem ser obedecidas as normas técnicas, bem como as especificações do projeto estrutural. Diante da necessidade de alterações no projeto ou na existência de discordâncias entre este e as normas existentes, o projetista deverá ser sempre consultado.

De acordo com o professor Chust, também é crucial que as recomendações de projeto sejam seguidas à risca na hora de efetuar a protensão. Isso se estende, inclusive, na verificação pós-protensão, pela comparação de medidas de alongamento da cordoalha na obra com resultados previstos no cálculo. "A etapa mais crítica é a da protensão em que o aço é submetido a uma tensão de cerca de 80% de sua resistência. Nenhum outro tipo de estrutura tem um material trabalhando com tamanha intensidade de ação. Por este motivo costuma-se dizer que a capacidade do aço de protensão está sempre testada após se fazer a protensão", diz o engenheiro.

"Pequenos deslocamentos horizontais nas cordoalhas engraxadas e plastificadas são permitidos para evitar interferências com outros insertos ou tubulações não previstas no projeto estrutural", acrescenta Eugênio Cauduro, o qual grandes curvas horizontais para desvios de aberturas ou outras interferências devem ser previstas no projeto



Durante o processo de montagem das cordoalhas, os operários devem saber que o posicionamento vertical dos cabos de protensão tem prioridade sobre outras instalações

estrutural quando as cordoalhas são engraxadas e plastificadas. "Nessas curvaturas, os cabos que caminham em grupos de até quatro cordoalhas lado a lado devem ser afastados uns dos outros em 5 cm no centro da curva", destaca o consultor

Como ocorre em outros sistemas de protensão, as boas práticas determinam colocar-se em primeiro lugar a armadura frouxa (tela soldada, por exemplo) inferior. Em seguida, são depositados os cabos de protensão colocando-os nas cotas de projeto. Só então as demais instalações embutidas (elétrica, hidráulica etc.) são introduzidas. "Durante todo o processo, os operários precisam estar cientes de que o posicionamento (cotas) vertical dos cabos tem prioridade sobre quaisquer outras instalações", alerta Eugênio Cauduro.

### Mão de obra

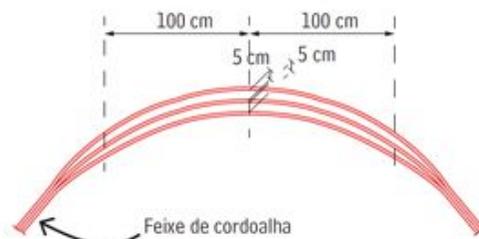
Para evitar problemas de execução, os serviços devem ser feitos por empresa especializada em protensão, preferencialmente com ampla bagagem técnica. Tais serviços incluem desde a montagem dos cabos à análise de interferências com outros projetos.

O professor Chust conta que a equipe que trabalha com estruturas protendidas deve ter qualificação, começando pelo engenheiro da obra que deve ter noção do processo de protensão até para controlar devidamente a execução. "Embora a quantidade de armadura seja bem menor que a dos elementos em concreto armado, o posicionamento da armadura exige que a equipe de funcionários seja treinada para executar a tarefa", destaca o professor da Ufscar.

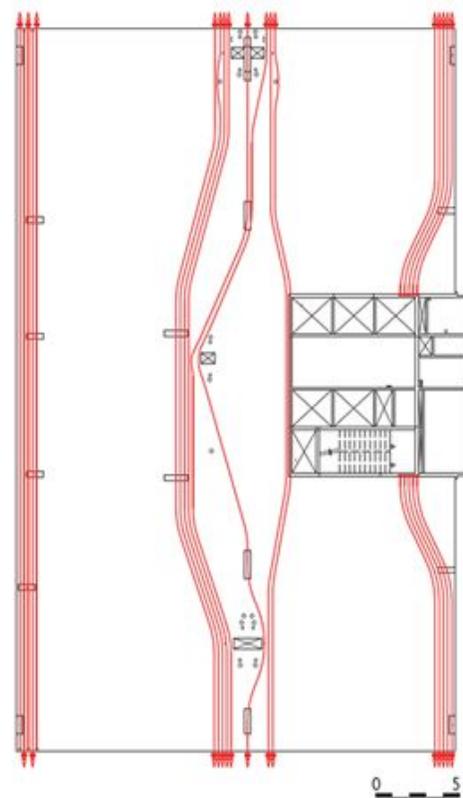
Quando ocorrem, as falhas mais recorrentes em estruturas de concreto protendido se devem a erros na furação da fôrma de borda por onde deve passar a cordoalha da ancoragem ativa (erro de cota) e deficiência na fixação da ancoragem ativa na fôrma, o que pode permitir a entrada de pasta de cimento no furo tronco-cônico de alojamento da cunha que fixará a cordoalha. Eugênio Cauduro lembra que falhas podem ocorrer, ainda, quando instaladores (elétricos, hidráulicos) alteram inadvertidamente as cotas dos cabos.



Na protensão não aderente, manutenção da tensão ao longo da vida útil depende das ancoragens, que devem ser fabricadas com elevado padrão de qualidade



Cordoalhas devem ficar afastadas 5 cm no centro da curva



Posicionamento das cordoalhas em planta

As consequências da execução inadequada se manifestam na forma de patologias, como as fissuras, eflorescências, flechas excessivas, manchas e segregação. "A protensão, ao controlar ou evitar a fissuração, geralmente evita deformações excessivas e estados de fissuração inaceitáveis, melhorando o comportamento da estrutura em serviço. Por isso, as obras em protendido e com cordoalha engraxada normalmente não apresentam patologias", comenta Chust, segundo o qual, quando acontecem, as patologias estão mais atreladas a projeto não suficientemente detalhado ou à execução equivocada.

## Evolução da obra

Principais cuidados no processo de execução das estruturas protendidas com cordoalhas engraxadas e plastificadas (protensão não aderente) em cada etapa

### 1. Recebimento



O recebimento do aço de protensão na obra deve ser acompanhado da análise da compatibilidade do material entregue com as especificações do projeto estrutural, do peso e homogeneidade do aço fornecido, bem como das condições aparentes do material (se apresenta defeitos como esfoliações, bolhas, fissuras, corrosões). Após a abertura dos rolos, as cordoalhas sem tensão devem manter flechas inferiores a 15 cm em 2 m de comprimento.

### 2. Equipamentos calibrados



Antes de iniciar os trabalhos, os equipamentos de protensão devem ser verificados. É preciso checar previamente se eles são os mais adequados para a obra e verificar o peso, a voltagem e, principalmente, a calibragem. É importante que o macaco hidráulico e o manômetro da bomba não sejam separados, pois eles são calibrados em conjunto.

### 3. Armazenamento no canteiro

Os cabos devem ser estocados com identificação amarrada contendo o número do cabo, o seu comprimento e a partida e lote a que pertencem. O aço deve ser estocado preferencialmente na embalagem original do fornecedor, sobre o piso ou prancha de madeira com distância mínima entre o aço e o solo seco de 30 cm. As cordoalhas engraxadas e plastificadas não devem ser armazenadas sob o sol por períodos prolongados, nem serem expostas a intempéries.



### 4. Confeção dos cabos

Cuidado especial deve ser tomado durante a pré-blocagem, também conhecida como pré-encunhamento do cabo. Esse procedimento tem a função de cravar a ancoragem em uma das pontas do cabo. Deve-se colocar o macaco num suporte, fazendo com que suas díbulas agarrem a cordoalha (sem a capa plástica) por trás da ancoragem fazendo com que o tracionamento da cordoalha puxe a cunha até que ela se aloje no furo tronco-cônico. A força na cordoalha deve ser a

mesma prevista para a protensão pela extremidade ativa. É importante verificar se a cunha alojou-se perfeitamente, ficando somente cerca de 1 mm para fora do furo. Também é necessário checar se as duas metades da cunha ficaram alojadas por igual, nunca uma mais funda que a outra.

### 5. Fôrma de borda



Um ponto crítico na execução de estruturas protendidas com cordoalhas engraxadas é a furação da fôrma de borda por onde deve passar a cordoalha da ancoragem ativa. Para que não haja erros de cota, o espaçamento entre as ancoragens deve se basear nos desenhos detalhados em projeto.

### 6. Instalação dos cabos nas fôrmas

Também na hora de se colocar e fazer o trançamento dos cabos sobre as fôrmas é necessário que haja obediência às determinações do projeto. Deve-se observar atentamente o posicionamento dos cabos em relação à laje, sobretudo a altura. Uma recomendação é utilizar, preferencialmente, travessas ou estribos semicirculares para criar uma superfície de contato maior. Os cabos têm sempre preferência em relação às armaduras convencionais e



conduítes, quando ocorrerem interferências com a armadura de pós-tração. Os operários devem ser instruídos a manusear as cordoalhas com cuidado para evitar danos ao plástico que as envolve.

### 7. Concretagem

Depois de todos os cabos estarem devidamente posicionados, inicia-se a concretagem. A equipe que executa esse serviço deve ser previamente instruída sobre as posições onde devem ser introduzidos os vibradores. O concreto jamais deve ser lançado a grande altura (> 2m), muito menos antes da inspeção das armaduras passiva e ativa.



### 8. Preparo da protensão

No dia seguinte à concretagem, deve-se retirar a fôrma de borda da laje, bem como a fôrma plástica. Nesse momento deve-se verificar se não houve entrada e deposição de pasta de cimento na parte interna do furo tronco-cônico. Se isso aconteceu, deve-se limpar a parte interna imediatamente.



Antes de iniciar a protensão deve-se verificar no projeto as indicações necessárias para a operação (força de protensão e alongamento para cada cabo; extremidades dos cabos que serão protendidas; resistência mínima do concreto na ocasião da protensão; etapas de protensão; ordem de protensão dos cabos). Se estas informações não estiverem claras, o projetista deve ser consultado.

### 9. Protensão

A protensão com cordoalhas engraxadas e plastificadas é muito simples. Usando-se uma pequena tábua como gabarito, pinta-se uma faixa com spray na ponta das cordoalhas. Coloca-se o macaco sobre a cordoalha, empurrando as mandíbulas através da alça, e eleva-se a pressão da bomba hidráulica. Segundo Eugênio Cauduro, não há necessidade de se elevar a pressão em intervalos, nem de ler o ganho de



alongamento a cada intervalo. Pode-se elevar a pressão da bomba até a pressão final.

#### 10. Avaliação da protensão

Concluída a protensão, deve-se verificar se foi atingido o alongamento previsto, já descontado o recuo natural que as cunhas têm após o retorno a zero de pressão (6 mm a 8 mm). Deve-se fazer a leitura do alongamento - medida entre a face concreto e a marca pintada na cordoalha. A partir da anotação de alongamento, o procedimento é seguir as instruções do projetista, que deve receber todos os registros de pressões, alongamentos e respectivos desvios percentuais. Só depois de obter aprovação, pode-se cortar a cordoalha, permitindo o devido cobrimento da armação. Após o corte das cordoalhas, deve ser feito um apicotamento na superfície de concreto e a limpeza dos blocos.



Fontes: Eng. Eugênio Cauduro; Orientações para Obras de Protensão, Rudloff; NBR 7483:2008 - Cordoalhas de Aço para Estruturas de Concreto Protendido - Especificação e NBR 14931:2004 - Execução de Estruturas de Concreto - Procedimento.