

ARTIGO PROTENSÃO

Em favor da leveza

Veja como funciona a pós-tensão com sistema não-aderente, que utiliza cordoalhas engraxadas e plastificadas

Eugenio Luiz Cauduro, engenheiro civil responsável pelo desenvolvimento de Mercado de Produtos para Construção Civil da Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira

Ideal para pretensões de baixa densidade, o sistema não aderente foi criado e desenvolvido para uso em lajes do tipo cogumelo e ganhou força no sudoeste dos Estados Unidos. Por sua extrema facilidade de aplicação, tornou-se importantíssimo na desenvolvida indústria de pré-fabricados norte-americana. A partir deste ano, a cordoalha plastificada e engraxada, que promete baratear e simplificar a protensão leve, passa a estar disponível também no Brasil, como mostra este artigo, baseado em trabalho original apresentado em agosto de 1996, durante a 38ª Reibrac, em Ribeirão Preto-SP.

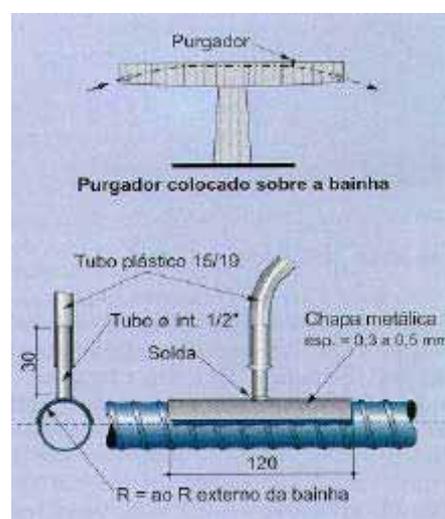
1. Introdução

1.1. Pós-tensão

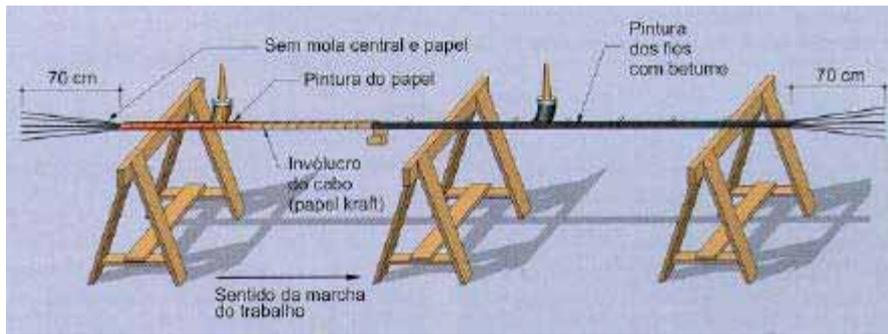
Os sistemas de pós-tensão utilizados nas construções em concreto protendido são agrupados em duas principais categorias: sistema aderente e sistema não aderente. No Brasil o concreto protendido começou a ser utilizado em 1949, com a construção da Ponte do Galeão que, na época, foi a mais extensa ponte em concreto protendido no mundo, com 380 m de comprimento. Foi uma das primeiras aplicações da patente Freyssinet em todo o mundo, tendo sido o próprio Eugène Freyssinet o orientador do projeto feito na França. Os cabos eram constituídos de 12 fios lisos de \varnothing 5 mm, envolvidos em duas ou três camadas de papel resistente (kraft), sendo os fios e o papel pintados com tinta à base de betume. Essa maneira de confeccionar os cabos tinha por objetivo possibilitar o tensionamento deles após o endurecimento do concreto. O betume evitava a penetração da nata de cimento para dentro do cabo e funcionava como lubrificante por ocasião da protensão. Tratava-se portanto de concreto protendido "sem aderência", apesar de haver posteriormente uma injeção de pasta de cimento no cabo, cuja finalidade era apenas promover uma proteção ao aço contra a corrosão.

1.2. Bainhas

Em 1956 surgiram as bainhas, produzidas com fitas plásticas enroladas helicoidalmente sobre os fios, que continuavam a ser pintados com tinta betuminosa. Somente em 1958 entraram no mercado brasileiro as bainhas flexíveis fabricadas com chapa metálica fina (0,3 mm de espessura), com "costuras" feitas em hélice. Com essas bainhas, que são estanques, os fios são usados sem pintura ou lubrificantes, permitindo a realização de aderência posteriormente desenvolvida, com a injeção de pasta de cimento dentro das bainhas, através de purgadores nas extremidades dos cabos e a cada 20 m.



Bainha metálica e purgadores



Esquema antigo para instrução sobre preparo de cabos formados por fios paralelos pintados com betume e fita de papel kraft

1.3. Cordoalhas de aço de sete fios

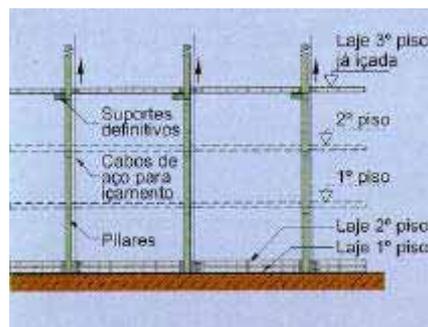
Na década de 50 surgiram no mercado mundial as cordoalhas de sete fios, com diâmetros de 12,7 mm e 15,2 mm, que rapidamente substituíram, na pós-tensão, os fios paralelos, que permaneceram com grande uso no Brasil até o fim dos anos 70. As cordoalhas possibilitam a confecção de cabos de muito maior capacidade de carga: dos cabos "de 20 t de força", os antigos cabos 12 Ø 5 mm usados na Ponte do Galeão, chegou-se rapidamente a cabos de altíssima resistência (perto de 800 t nos cabos formados por 55 Ø 12,7 mm), destinados principalmente a obras hidrelétricas e vasos de pressão de usinas atômicas.

As cordoalhas atenderam à necessidade de aumento da força de protensão nos elementos estruturais, diminuindo o número de cabos e, conseqüentemente, facilitando a concretagem. Esses cabos passaram a exigir macacos hidráulicos de dimensões e pesos cada vez maiores, proporcionais ao aumento de resistência dos cabos. Os primeiros macacos foram fabricados para protender cabos de 12 cordoalhas de 12,7 mm, seguidos por outros de todas as dimensões.

1.4. - Processo "Lift Slab"

Na mesma década de 50, surgiu nos Estados Unidos um processo de construção denominado "Lift Slab", que

consiste em fundir diversas lajes umas sobre as outras, apoiadas sobre o solo, que depois são içadas e ancoradas nos pilares. Lajes planas, sem vigas em sua face inferior, são ideais para o processo. Este era bastante utilizado com lajes em concreto armado, mas muitas obras apresentavam deformações importantes. A protensão veio resolver esse problema e tornou-se a solução ideal para esse sistema de construção.



Processo "Lift Slab"

1.5. Cordoalha engraxada e plastificada

A procura por um sistema de protensão de fácil operação e de baixo custo, para a execução de muitas obras de pequenas dimensões, fez surgir no final da década de 50 a primeira patente de protensão que utilizava bainhas individuais de plástico extrudadas sobre a cordoalha. Como elemento protetor e inibidor da corrosão, uma graxa especial envolvia a cordoalha antes da extrusão do plástico. Essa graxa inibidora da corrosão fornece também

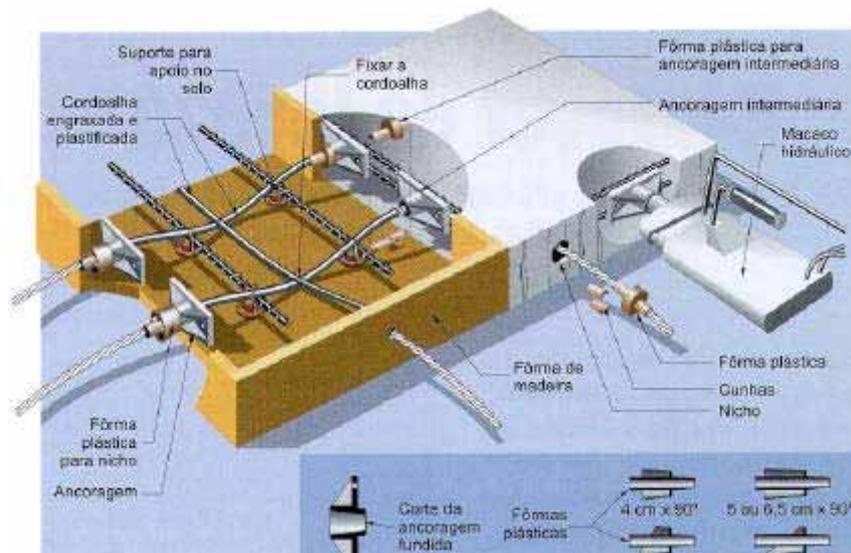
excelente lubrificação entre a cordoalha e a capa, reduzindo drasticamente o coeficiente de atrito, que passa de 0,24, no caso de bainhas metálicas, para 0,07, no caso de capa plástica.



Cordoalha engraxada e plastificada

1.6. Ancoragens monocordoalhas

O desenho engenhoso da ancoragem monocordoalha americana foi uma das razões do barateamento da protensão. Uma só peça de aço fundido nodular constitui a placa distribuidora de tensões no concreto, servindo ao mesmo tempo de reforço radial ao bloco-fêmea conjugado com furo tronco-cônico (que aloja a cunha de ancoragem). Também de grande praticidade e simplicidade é a fôrma plástica que protege o furo tronco-cônico contra a entrada de nata de cimento, estabelecendo o correto afastamento da ancoragem em relação à forma, além de possibilitar a moldagem de um nicho de pequenas dimensões, o qual, após a protensão e o corte da cordoalha, é facilmente preenchível com argamassa forte de acabamento.



Montagem típica de uma laje com monocordoalhas

2. Protensão com o sem aderência – Características

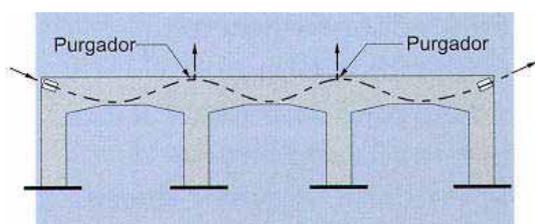
2.1. Com aderência posteriormente desenvolvida

Após a protensão, é feita a injeção de pasta de cimento dentro das bainhas com bomba especial. As cordoalhas ficam aderidas à pasta de injeção que, por meio das bainhas corrugadas, aderem ao concreto da peça estrutural, impedindo o movimento relativo entre as cordoalhas e o concreto. As cordoalhas dividem espaço dentro de uma mesma bainha e de uma só ancoragem multicordoalha. São normalmente protendidas simultaneamente por um só macaco de protensão, a não ser no caso de bainhas achatadas (muito usadas em lajes devido à pequena espessura destas), que são protendidas por macacos monocordoalha, geralmente de furo central.

por entre a ferragem frouxa da obra. Apesar de ancoradas individualmente, as cordoalhas podem ser reunidas em grupos; podem também ser separadas no meio de uma laje para desviar-se de obstáculos. A protensão é feita por um macaco hidráulico de pistões paralelos que segura cada cordoalha no centro dos dois pistões, em operação muito rápida. Pode ser utilizado, também, macaco de furo central.



Macaco hidráulico de dois pistões efetua a protensão



Injeção do cabo na viga contínua

2.2. Sem aderência, com cordoalhas protegidas por graxa e plastificadas

2.2.1. Monocordoalha plastificada

O sistema é denominado "monocordoalha", pois cada ancoragem segura apenas uma cordoalha. Devido a seu baixo coeficiente de atrito, geralmente cada cordoalha leva uma ancoragem pré-encunhada em uma extremidade. (ancoragem passiva), sendo protendida apenas pela outra (ancoragem ativa). A capa protetora (bainha plástica) feita de polietileno de alta densidade com espessura mínima de 1 mm oferece excelente resistência ao manuseio e arraste



As cordoalhas fazem uma curva, para se desviarem de obstáculos

A leitura do alongamento não precisa ser feita em diversos intervalos de pressão, irias somente ao final da protensão, pois não lia acomodação nem retificação da cordoalha, nem o risco de cabos presos por pasta de injeção dentro das bainhas. Além da praticidade do manuseio, esse tipo de cordoalha elimina a constante preocupação com a integridade da bainha metálica durante seu posicionamento nas formas para se verificar eventuais amassamentos ou entrada de nata de cimento que possa prender a cordoalha.

2.2.2. Multicordoalhas plastificadas

Essas multicordoalhas são aplicadas principalmente em cabos externos às peças de concreto. Um conjunto de cordoalhas engraxadas e plastificadas é reunido dentro de um grande tubo plástico (bainha), em cujo interior é injetada pasta de cimento para manter as posições relativas das cordoalhas. A manutenção das posições garante que uma cordoalha não prenda outra durante a operação de protensão, situação possível porque esse grande cabo externo segue uma trajetória irregular e, ao atravessar as transversinas, apresenta pontos angulosos (veja Figura 7). Separadas pela pasta de cimento endurecida, as cordoalhas engraxadas e plastificadas possuem bainhas individuais e por isso movimentam-se livremente dentro delas, sendo assim tracionadas conjuntamente por um mesmo macaco multicordoalha. O sistema permite que os cabos sejam concebidos para ser eventualmente substituídos.

2.3. Vantagens da protensão com aderência

A aderência responde por melhor distribuição das fissuras e maior segurança à ruína (ELU);

Repercuta também em maior segurança da estrutura na parte e no todo, diante de situações extremas, como incêndios, explosões e sismos.

2.4. Vantagens da protensão sem aderência

- Maior facilidade e rapidez na colocação das cordoalhas nas fôrmas;
- Maior excentricidade possível (importante em lajes finas);
- O aço de protensão já chega ao canteiro protegido pela graxa e capa plástica;
- Menor perda por atrito;
- Ausência da operação de injeção de pasta de cimento.

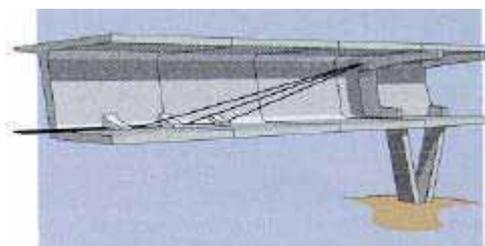
3 - Pré-fabricados de concreto protendido

3.1. Pré-tensão

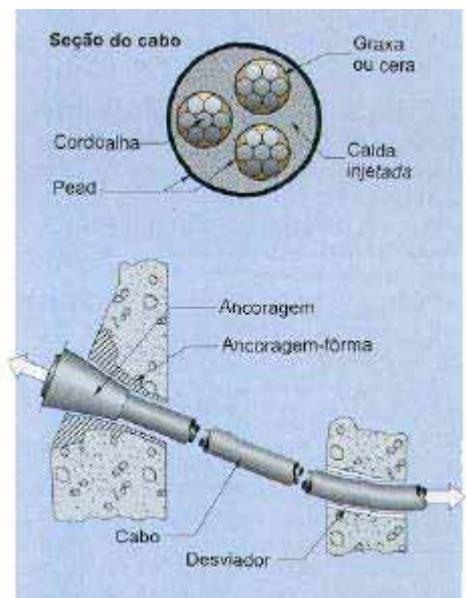
A protensão consiste no tensionamento do aço antes do lançamento do concreto. Isto se dá geralmente nas chamadas pistas de protensão, as quais consistem de um "berço" longo (entre 100 m e 200 m de comprimento), que pode acomodar a fôrma inferior da peça a ser concretada. Nas extremidades do "berço" são construídos elementos suficientemente resistentes para suportar a reação

ao tensionamento de diversos fios ou cordoalhas até sua força de trabalho. Após a colocação da armadura frouxa e do tensionamento do aço de protensão, são dispostas as partes restantes das fôrmas metálicas reutilizáveis e lançado e vibrado o concreto (ou este é conformado por meio de máquinas extrusoras ou moldadoras).

O uso da protensão permite a elaboração de peças relativamente leves, facilitando o transporte, manuseio e montagem nas obras. A fabricação em usinas (fábricas) facilita o controle dimensional do produto, o controle da qualidade do concreto, o posicionamento das armaduras etc. A protensão, nas pistas, é feita por meio de macaco monocordoalha, em fios e cordoalhas nuas, sem bainhas, pois eles transferirão sua carga à peça que foi concretada, mediante a aderência direta do concreto ao aço de protensão. Essa grande padronização, no entanto, exige que existam poucos tipos e seções de peças, forçando que em cada projeto sejam utilizadas apenas as seções e peças existentes.



Cabos externos em viga-caixão



Esquema de cabos externos

3.2. Despadronização na indústria de pré-fabricados

As indústrias têm um problema de difícil solução quando há projetos que exigem peças de dimensões não padronizadas (maiores ou menores que as fôrmas existentes), projetos com pequeno número de peças padronizadas ou, ainda, quando é necessária força total de protensão maior que a capacidade de suporte das pistas. Para se construir

peças fora das pistas, comumente se acabam projetando peças em concreto armado muito pesadas para ser movimentadas pelos equipamentos de transporte e içamento existentes. Isso devido à pouca familiaridade das fábricas com o sistema tradicional de pós-tensão multicordoalhas com bainhas injetadas: o pessoal não é treinado para a colocação de ancoragens e bainhas, não existem macacos de maior potência nas fábricas, sua locação seria onerosa, por ser utilizado só algumas vezes por semana, não existe equipamento de injeção etc,

3.3. Pós-tensão com monocordoalhas em fábricas de pré-fabricados de concreto

A solução ideal e prática para a fabricação de peças não padronizadas, em fábricas, é a utilização de pós-tensão com monocordoalhas plastificadas e engraxadas, por diversas razões:

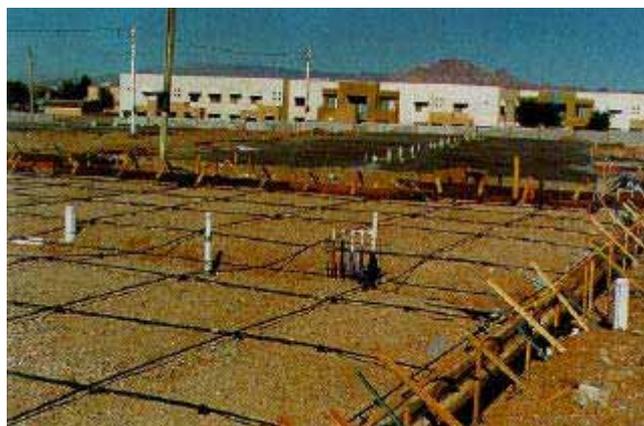
- Podem ser utilizadas fôrmas metálicas ou de madeira, especiais para as peças despadronizadas, e fundir as peças em qualquer área da fábrica;
- Pode-se utilizar o pessoal treinado da fábrica;
- Podem ser utilizados os macacos monocordoalha já existentes na fábrica, não sendo necessárias novas aquisições;
- Não há necessidade de se tomar cuidados contra danificações em bainhas metálicas;
- A colocação das cordoalhas plastificadas dentro da armadura frouxa das peças de concreto é muito simples - quase como a colocação da própria armadura frouxa;
- O custo das ancoragens que ficarão incorporadas às peças de concreto é muito baixo, interferindo muito pouco no custo da peça completa;
- Os nichos das ancoragens são muito pequenos e facilmente disfarçáveis, por meio de grauteamento, após a protensão;
- Não há necessidade de injeção de pasta de cimento; conseqüentemente, nem do equipamento de mistura nem da bomba para a injeção;
- Os cabos monocordoalha podem assumir todas as curvaturas características da pós-tensão, economizando aço nas peças.

4. Lajes tipo "radier" em concreto protendido com cordoalhas engraxadas e plastificadas

Essas lajes são apoiadas no solo como fundação para pequenas residências, edifícios residenciais de poucos andares, depósitos, armazéns etc. De acordo com as características do solo, as lajes protendidas podem ser construídas em grandes panos (de até 80 m x 80 m), com espessuras a partir de 0,10 m, utilizando baixíssima taxa total de armadura – os cabos monocordoalha são distribuídos a cada 1 m, aproximadamente, nas duas direções.

Como a quantidade de cordoalhas engraxadas e plastificadas em cada piso (única armadura utilizada) é muito reduzida, há necessidade de que

os trabalhos sejam também muito simples, o que é proporcionado por esse tipo de cordoalha e seus acessórios: a colocação dos cabos deve ser fácil, a protensão feita com macacos e bombas leves e práticas de operar e transportar. A não necessidade de injeção de pasta de cimento contribui também para a simplicidade do sistema. É por essa razão que as fundações em radier consomem mais de 3 mil t mensais de cordoalhas engraxadas e plastificadas nos Estados Unidos.



Preparação de radier, em concreto protendido, durante a construção de prédios de três andares nos EUA (no fundo, área já concretada)

5. Materiais e equipamentos

5.1 - Quantidades

Na verificação ao ELU, a utilização de cabos não aderentes em lugar de cabos aderentes conduz a um pequeno aumento na quantidade de aço para protensão, aumento esse compensado pela diminuição da quantidade de aço para protensão devido ao pequeno coeficiente de atrito aço-graxa-plástico (=0,07) em comparação ao coeficiente de atrito aço-bainha metálica (=0,24). O maior braço de alavanca permitido pela cordoalha não aderente diminui a espessura das lajes com a conseqüente economia de material e de peso próprio.

5.2 - Cordoalhas

São as mesmas normalmente utilizadas na protensão aderente. As características da graxa e da capa plástica são as estabelecidas pelo PTI-Post Tension Institute, órgão que congrega fabricantes, projetistas e empresas de protensão de todo o mundo, com sede nos Estados Unidos. As cordoalhas são apresentadas em bobinas de peso entre 1.400 e 2 mil kg. São produzidas em processo industrial contínuo, fazendo-se passar a cordoalha nua por dispositivo de engraxamento e logo a seguir por uma extrusora que molda capa plástica sobre a graxa, formando capa contínua e ininterrupta em todo o comprimento da bobina.

A venda dessa cordoalha começará a ser feita neste princípio de 1997 pela Cia. Siderúrgica Belgo-Mineira, nos mesmos moldes da comercialização da cordoalha nua.

5.3 - Ancoragens, macacos e bombas

As empresas de protensão que atuam em nosso mercado já vêm utilizando cordoalhas engraxadas e plastificadas há mais de dez anos no Brasil, fazendo elas mesmas o engraxamento e embainhamento com capa plástica, após o corte das cordoalhas nos comprimentos de projeto.

Desenvolvem, também, ancoragens, macacos e bombas hidráulicas para trabalhar de forma leve, prática e segura com o sistema não aderente.

Como a integridade das ancoragens no correr da obra deve ser preservada, as empresas de protensão desenvolveram ancoragens apropriadas e tecnologia adequada para o tratamento final das ancoragens, principalmente quando se trata de ambientes agressivos.

6 - Conclusão

O sistema é utilizado até agora no Brasil principalmente em reforço de obras já existentes. No entanto, já estão em construção no Paraná diversos silos de grande altura utilizando as cordoalhas engraxadas e plastificadas.

As empresas que atuam no mercado brasileiro com materiais e serviços de protensão, já muito experientes no sistema aderente, oferecem agora o sistema de cabos não aderentes, com a vantagem de ele já estar sendo utilizado em todo o mundo desde os anos 50, principalmente nos Estados Unidos, França, Inglaterra e Itália.

O sistema monocordoalha não aderente vem se somar ao tradicional multicordoalha aderente, e a julgar pelo enorme sucesso e desenvolvimento a que chegou em todo o mundo, virá a ocupar um lugar de destaque no mercado brasileiro, ampliando o campo de aplicação do concreto protendido em nosso país.

Leia mais: 1. Schmid, M. - *Lajes Planas Protendidas*, 1993, Rudloff - VSL; 2. Vasconcelos, A.C. - *A Protensão em Lajes de Edifícios*, 1983, 6ª Simpatcom; 3. Aalami, B.O. - *Unbonded and Bonded Posttensioning - A Design and Performance Review*, Post Tension Institute, Technical Notes, 1994; 4. Machado, C.F. e Duarte, E. - *Sistema Mac Protensão - Técnicas e Aplicações*, Seminário Concreto Protendido, Associação Brasileira de Pontes e Estruturas - 1983; 5. Freyssinet Magazine - *Le Toron Gainé Graissé*, Juin 1992; 6. ACI Structural Journal - *Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons*, Committee Report, may/june/1989; 7. Aalami, B.O. - *Design of Post-Tensioned Floor Slabs*, Concrete International, June 1989; 8. STUP (Processos Freyssinet) SA, *Documentação STUP*, fevereiro de 1967, e *Manual do Processo Freyssinet*; 9. *Protende Serviços de Construção Civil Ltda. - Manual dos Sistemas Tensacciai, de Protensão*; 10. VSL International Ltd., Rudloff - *External Post - Tensioning (VSL, Report Serie)*, 1990; 11. Post-Tension Institute, *Post-Tensioning Manual, Fifth Edition* 1990; 12. Vasconcelos A. C. - *O Concreto no Brasil, Recordes, Realizações, Histórias*, 1992; 13. *Precast Prestressed Concrete Institute, PCI Design Handbook Third Edition*, 1985; 14. Dywidag Systems International - *Catálogo Geral de Monocordoalhas*; 15. Gerwick Jr., B.C. - *Construction of Prestressed Concrete, Structures*, 1992.