

Apresentação

Este manual não se refere ao cálculo. Fornece informações úteis tanto para o principiante quanto para o engenheiro experimentado mas viciado pelo procedimento indiscriminado de mestres e operários antigos **que já conhecem tudo sobre protensão**. Poderia ser interpretado como "Faça você mesmo, apesar de não ter tido um curso completo sobre protensão". Ou então: "Torne a protensão uma atividade simples e sem mistérios". É realmente a finalidade deste manual. Tira toda sua inibição contra algo que lhe possa parecer intransponível. Torna tudo tão simples que você só precisa saber ler. As figuras mostram tudo de maneira tão clara e simples que até mesmo um leigo consegue entender como se faz. Não saberá, entretanto, projetar uma obra ou conceber algo com a segurança exigida, mas poderá perceber alguns erros que chamem bastante a atenção ou exageros que fujam à prática usual.

O Capítulo 2 serve como complementação ao que o engenheiro de obra já conhece. É uma espécie de recordação dos conceitos. Ele pode executar bem uma obra, seguindo todas as recomendações, como se estivesse diante de uma receita sem se interessar pela sua origem. Desejando se aprimorar, o engenheiro pode voltar ao manual e ler esse capítulo para relembrar os conhecimentos.

Os Capítulos 3 a 6 mostram alguns erros que ocorrem com maior frequência e que podem ser evitados desde que se saiba que possam ocorrer. Alguns desses erros já vêm do projeto e podem ser detectados antes da execução deficiente. Para isso, a leitura do item 6.9 pode ser útil tanto para o projetista quanto para o executor.

Os Capítulos 9 e 10 se referem à aplicação da protensão e sua medida. Alerta ao executor sobre o que **nunca deve ser feito**. Pode parecer óbvio para o engenheiro experimentado, mas ele mesmo não se lembraria de alertar seus auxiliares, pois nem passaria pela sua mente **que alguém pudesse cometer tais barbaridades**.

Quando algo não dá certo na obra, muitas vezes o engenheiro fica atordoado e sem saber o que fazer. Sua tendência natural pode não ser a melhor solução. Quebrar o concreto para substituir um cabo pode ser pior do que aceitar uma protensão deficiente. É necessário colocar nos pratos de uma balança os prós e os contras de qualquer procedimento, levando em consideração o custo e o tempo perdido. A substituição de um cabo por outro de menor diâmetro pode ser a melhor solução, mesmo que a protensão efetiva aplicada seja inferior à prescrita pelo cálculo. Neste caso é indispensável ouvir a opinião do projetista. O manual fornece "dicas" para resolver muitos casos frequentes, mas não pode prever tudo o que acontece. O leitor, diante dos conhecimentos adquiridos com a leitura do manual, pode e deve raciocinar e criar seu próprio julgamento.

Em resumo, o manual procura alertar sobre **quase tudo** o que pode acontecer na obra. Aconselha-se ao leitor imaginar o que ele faria antes de ler a solução sugerida. É muito importante que ele **pense e resolva o problema**. Muitas vezes, sua solução pode ser a melhor de todas. Afinal, todo indivíduo possui uma imensa capacidade de pensar, sendo freqüentemente a melhor solução de qualquer problema aquela proveniente de alguém que nunca havia se deparado com situação semelhante. O excesso de conhecimentos teóricos muitas vezes inibe um pensamento bem orientado. É como se nossa cabeça estivesse cheia de "lixo" não dando lugar a circuitos orientados pela intuição pura e não contaminada.

Este manual ajuda a todos os que necessitam de uma resposta rápida e segura para a maioria de seus problemas. Use-o e ganhe tempo e conhecimento. Não vai adiantar nada apenas ler: é indispensável praticar!

AUGUSTO CARLOS DE VASCONCELOS
Eng° Consultor

Prefácio

Desde janeiro de 1996, quando iniciou sua pesquisa nos Estados Unidos da América sobre o processo de protensão não aderente, utilizado naquele país desde os anos 60, o autor vem reunindo literatura e observações sobre o desenvolvimento e o uso desse sistema de protensão descomplicado: pós-tração com cordoalhas engraxadas e plastificadas.

Antes disso, o sistema de protensão usual no Brasil era o de pós-tração com aderência posteriormente desenvolvida, com o uso de cordoalhas nuas, envoltas por bainhas metálicas, com posterior preenchimento por injeção de pasta de cimento e água em todo o seu interior, que promove a aderência entre as cordoalhas, a pasta, a bainha e o concreto que a envolve. É um processo muito utilizado na construção de pontes e viadutos, nos quais existem grandes concentrações de forças, com muitas cordoalhas distribuídas em pequenos espaços físicos.

Durante muitos anos os edifícios foram construídos com essa tecnologia transposta das pontes para as lajes planas maciças. Seu sucesso, porém, ficou restrito aos grandes edifícios comerciais cujos vãos de maior amplitude impunham a protensão.

Raramente eram construídos edifícios residenciais em laje plana protendida com aderência posterior, pois, além de seu custo não ser competitivo com as lajes vigadas de concreto armado - normalmente utilizadas para vãos pequenos - a tecnologia razoavelmente complexa não acompanhava bem a dinâmica de construção dos edifícios.

O sistema de protensão com cordoalhas engraxadas e plastificadas usado no mundo todo, e particularmente nos Estados Unidos, tem diversas características diferentes do sistema aderente, principalmente quanto à praticidade e simplicidade dos materiais e serviços:

- a cordoalha já vem com graxa protetora contra a corrosão e bainha plástica individual extrudada diretamente sobre a cordoalha engraxada, muito resistente, que suporta com facilidade o manuseio usual dos materiais no canteiro
- simples fabricação dos cabos
- cada cordoalha pesa 0,88 kg/m ($\varnothing$ 12,7 mm), portanto, o seu transporte é simples e fácil, feito cordoalha por cordoalha
- o posicionamento nas cotas corretas é muito prático, com auxílio de peças de plástico ou aço (cadeirinhas)
- usa ancoragens fundidas pequenas e baratas
- as cunhas são bipartidas sem anel de união
- fôrma plástica descartável padronizada, para formação do nicho por onde entrará o bico do macaco
- macaco hidráulico de dois pistões engenhoso e leve (19 kg) , que pode ser posicionado e protender em qualquer parte do comprimento do cabo, tensionando uma cordoalha de cada vez a cada 30 segundos
- usa bomba hidráulica pequena (35 kg) e fácil de ser transportada
- a protensão é feita em uma só elevação de pressão, pois não há retificação de cordoalha (bainha justa com a cordoalha) e não há a possibilidade de cabos presos por pasta de cimento
- não necessita de injeção de pasta de cimento

Por tudo isso, esse processo abriu um novo horizonte na construção protendida no Brasil, desde sua introdução no mercado, em fevereiro de 1997.

O principal mercado que se abriu foi o da construção de edifícios residenciais, que encontrou na protensão leve uma alternativa prática, rápida e econômica para o tradicional concreto armado.

Edifícios com vãos de 3 a 5 metros feitos em laje maciça sem vigas tornaram-se competitivos e de maior qualidade executiva que os de concreto armado.

Viabilização surpreendente aconteceu no mercado de pisos comerciais, industriais e de “radiers” para fundações, desde os para residências populares e de classe média até os edifícios de mais de 15 andares.

O baixo coeficiente de atrito (0,07) cabo/bainha plástica auxiliado pela graxa protetora, encontrou um uso ideal nos silos e reservatórios cilíndricos, nos quais o formato circular dos cabos provocava grandes perdas por atrito quando era usada a protensão tradicional (coeficiente de atrito igual a 0,24. Com a cordoalha engraxada os cabos agora podem percorrer 360° sem perda de força significativa).

Nesses cinco anos, desde o lançamento dessa cordoalha no mercado brasileiro, diversas novas empresas de protensão surgiram em quase todos os Estados do Brasil, as quais, junto com as empresas tradicionais de protensão, dão cobertura às obras em todo o território nacional. Isso mostra a extrema simplicidade do sistema não aderente.

A facilidade executiva desse sistema, no entanto, pode levar à errada suposição de que qualquer pessoa mediantemente iniciada no processo pode tocar uma obra de protensão com segurança. No entanto, a protensão continua sendo um assunto técnico e assim deve ser tratado. A mão-de-obra envolvida deve ser muito bem treinada e orientada por um profissional experiente que tenha somente essa incumbência na obra e que nela permaneça durante todo o tempo de construção da estrutura. A improvisação pode ser muito perigosa.

O objetivo desse manual é fornecer informações sobre a protensão não aderente ao projetista estrutural, ao engenheiro responsável pela obra, às empresas de protensão, aos encarregados da obra e aos fiscalizadores / laboratórios.

As sugestões aqui apresentadas representam a experiência do autor no assunto protensão e são baseadas em diversos artigos e publicações inglesas e norte-americanas, principalmente as do PTI – Post-Tension Institute, entidade dos Estados Unidos da América que congrega projetistas, usuários e empresas de protensão de todo o mundo.

Responsabilidades

Projetos específicos e práticas de montagem, de protensão e de acabamento são únicos para cada obra e são de responsabilidade dos engenheiros e proprietários da mesma. Este manual não pretende ser especificação detalhada a respeito de procedimentos seguros em canteiros de obras, manuseio e montagem. A colocação e montagem de sistemas de protensão em monocordalhas não aderentes pós-tracionadas são sujeitas a avaliações e critérios pessoais. As práticas de segurança de projeto e montagem dos engenheiros, empreiteiros e proprietários deve, em cada instância, controlar toda a atividade do pessoal de obra.

O autor não dá nenhuma garantia a respeito das recomendações contidas neste manual, incluindo as de qualidade, de manufatura e de segurança, expressas ou implícitas. O autor não é responsável por qualquer dano, incluindo aqueles conseqüentes do uso das recomendações desse manual.

A incorporação como referência ou citação deste manual de instrução em quaisquer especificações, documentos de contrato, ordens de aquisição, desenhos ou detalhamentos de obra devem ser feitos sob risco daqueles que estão fazendo tal referência ou citação e não deve sujeitar o autor a qualquer responsabilidade, direta ou indireta; e aqueles que fazem qualquer referência ou citação devem deixar de lado qualquer reivindicação contra o autor.

Eng° Eugenio Luiz Cauduro
e-mail: cauduro@belgo.com.br
ecauduro@uol.com.br

Ao José Geraldo Lúcio, dedicado funcionário da Cia. Siderúrgica Belgo-Mineira, que despendeu seu tempo livre por vários meses, traduzindo do inglês dezenas de páginas de literatura técnica americana.

Ao vanguardista projetista estrutural cearense Marcelo Silveira, que gentilmente cedeu diversos desenhos com detalhes localizados das armações e ancoragens, os quais fazem parte desse manual.

Ao Dr. Bijan O. Aalami, professor emérito da San Francisco State University, e presidente da ADAPT Corporation, que cedeu inúmeros desenhos detalhados de projetos das Armaduras.

Agradecimento Especial

À minha esposa
Regina Helena, por sua
paciência, compreensão e
pelo sacrifício de muitas
horas de convívio e lazer.

Engº Eugenio Luiz Cauduro

Compact disc

Personalize seus projetos, treinamentos, apresentações e aulas. As fotografias e detalhes contidos no manual poderão ajudá-lo nessas tarefas.

O presente manual contém inúmeros desenhos que podem ser utilizados pelos engenheiros estruturais em seus projetos.

No CD anexo encontram-se diversos arquivos em Word e Excel, que você poderá copiar e alterar conforme sua preferência pessoal.

A seção “6.9 - Sugestões ao Projetista”, como sugestão do autor, deve ser incluída nas instruções que o projetista deve enviar à obra juntamente com o projeto estrutural.

Para inspeção de obras pode ser utilizada a “Lista de Verificação para Inspetores”, do item 15.4.

Um formulário “Relatório das operações de Protensão”, como o do item 15.3 pode ser usado nas obras. Copie e altere-o conforme seu interesse ou as peculiaridades da sua obra.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Propósito	10
1.2. Responsabilidades	10
1.3. Definições	10

2. PROTENSÃO

2.1. Conhecimento prático do concreto protendido	19
2.2. Teoria	26
2.3. Protensão para se obter um balanceamento de cargas	26
2.4. Protensão parcial ou total	27
2.5. Componentes contínuos de uma estrutura	27
2.6. Balanços	28

3. FABRICAÇÃO

3.1. Fabricação das cordoalhas	29
3.2. Fabricação dos cabos	30

4. DOCUMENTOS DE CONTROLE PARA UMA OBRA DE PROTENSÃO

4.1. Geral	32
4.2. Desenhos de instalação (cablagem)	32
4.3. Romaneios	32
4.4. Certificado dos materiais	32
4.5. Calibração dos macacos	32
4.6. Tabelas de protensão	33

5. ENTREGA, RECEPÇÃO, MANUSEIO E ESTOCAGEM

5.1. Entrega e aceitação	34
5.2. Manuseio e estocagem	34

6. MONTAGEM DO SISTEMA NA OBRA

6.1. Geral	36
6.2. Coordenação das funções relacionadas	36
6.3. Procedimentos gerais de montagem	37
6.4. Procedimentos de montagem para lajes cogumelo armadas em uma ou duas direções	37
6.5. Procedimentos de montagem para vigas e lajes	43
6.6. Montagem de ancoragens passivas no campo	46
6.7. Inspeção geral após a montagem antes do lançamento do concreto	47
6.8. Exemplos de detalhes típicos de montagem	48
6.9. Notas gerais / sugestões ao projetista	58

7. LANÇAMENTO DO CONCRETO

7.1. Procedimentos gerais	67
---------------------------	----

8. ANCORAGENS

8.1. Geral	68
8.2. Ancoragem	68
8.3. Cunhas	68
8.4. Protensão	69
8.5. Considerações de segurança	70

9. PROTENSÃO DO CABO

9.1. Geral	71
9.2. Preparação para protensão	71
9.3. Protendendo os cabos	72
9.4. Protensão de cabos em lajes sobre o solo	77
9.5. Procedimentos de segurança	77
9.6. Nunca faça	78
9.7. Perguntas a serem respondidas com “sim” para inspeção antes, durante e depois da protensão dos cabos	78

10. ALONGAMENTO

10.1. Geral	80
10.2. Preparação	80
10.3. Medição	80
10.4. Registro	81

11. ACABAMENTO DOS CABOS

11.1. Corte da ponta dos cabos	82
11.2. Grauteamento do nicho de protensão	83

12. SISTEMAS ENCAPSULADOS

12.1. Geral	84
12.2. Propósito e finalidade	84
12.3. Fabricação de cabos encapsulados	84
12.4. Descarregamento de cabos encapsulados	84
12.5. Manuseio de cabos encapsulados no canteiro de obra	84
12.6. Instalação de sistemas encapsulados	84
12.7. Acabamento do sistema encapsulado	85

13. CABOS BARREIRA

13.1. Geral	86
13.2. Instalação dos cabos através dos pilares	86
13.3. Instalação dos cabos na borda dos pilares	88
13.4. Considerações sobre protensão especial	89

14. SOLUÇÃO DE PROBLEMAS NO CANTEIRO DE OBRAS

14.1. Riscos	91
14.2. Prevenção dos problemas mais frequentes	91
14.3. Escorregamento da cordoalha e/ou macaco preso	92
14.4. Bicheira no concreto	93
14.5. Estouros (rompimentos do concreto)	94
14.6. Ruptura da cordoalha (um ou mais fios)	94
14.7. Cabos curtos demais para serem protendidos usando o procedimento normal de protensão	95
14.8. Emendando cabos	95
14.9. Cunhas fissuradas	97
14.10. Procedimentos para verificação da força no cabo	97
14.11. Equipamento para reparo de cabos monocordoalha	98

15. APÊNDICE

15.1. Exemplo - Certificado do Aço	101
15.2. Exemplo - Gráfico / tabela de calibração do macaco	102
15.3. Exemplo - Relatório das Operações de Protensão	103
15.4. Exemplo - Lista de verificação para inspetores	104
15.5. Reparo de cabos danificados em ambiente agressivo	108

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROPÓSITO

Este manual foi desenvolvido:

- Para fornecer informações básicas e desenhos detalhados para uso de projetistas
- Para equalizar a linguagem entre projetistas, proprietários e executores de obras, intervenientes diversos, fiscalizadores e laboratórios
- Para fornecer orientação ao pessoal de campo envolvido na instalação, protensão e acabamento dos cabos monocordalhas não aderentes
- Para fornecer informações para inspeção de construções que utilizam cabos monocordalhas não aderentes e contém extensas explanações sobre problemas de canteiro de obras com este tipo de construção

Deve ser entendido que enquanto os detalhes e recomendações apresentados neste manual pretendem representar a prática geralmente aceita pelo mercado, as práticas das diferentes empresas de protensão em itens específicos (em particular, procedimentos de operação de equipamentos de protensão) podem variar em relação às recomendações aqui apresentadas.

Caso ocorra qualquer conflito entre este manual e os documentos contratuais ou instruções da empresa de protensão, os mesmos devem sempre prevalecer, devido à responsabilidade das empresas de protensão e seu envolvimento nas obras.

1.2 RESPONSABILIDADES

Responsabilidades pela instalação, protensão, acabamento de cabos não aderentes e supervisão técnica do canteiro de obras devem estar claramente estabelecidas nos documentos de contrato, especificações especiais do projeto e nos termos do contrato entre a construtora, a empresa de protensão e o instalador.

1.3 DEFINIÇÕES

As definições dos termos usados neste manual são as seguintes:

Aço de Fretagem

Aço de reforço usado para controlar as forças de tração desenvolvidas no concreto atrás das ancoragens, devido à compressão provocada pelo cabo, que se distribuem em todas as direções.

Aço para Protensão

Aço de alta resistência que é usado para protender o concreto, normalmente cordoalha formada por 7 (sete) fios. É o elemento do cabo que é alongado e ancorado para promover a necessária força de protensão. Ao ser tracionado a 75% da carga de ruptura, ou seja, a perto de 15 toneladas, esse aço se alonga entre 6 e 7 milímetros por metro. Assim esticado é fixado pelas ancoragens. Tentando voltar ao comprimento inicial, ele comprime o concreto através das ancoragens.



Alongamento

Acréscimo de comprimento do aço de protensão (cordoalha) que ocorre sob aplicação da força de protensão.

Ancoragem

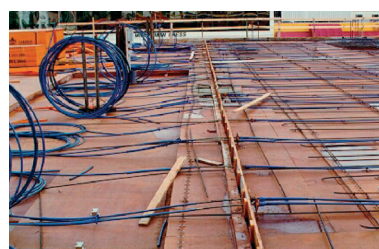
Conjunto de peças mecânicas incluindo todos os componentes requeridos para ancorar (fixar) o aço para protensão e transmitir permanentemente a força de protensão ao concreto.

Ancoragem Ativa

Ancoragem da extremidade ativa do cabo que é usada para tensionar e fixar o aço para protensão (cordoalha).

**Ancoragem Intermediária**

Uma ancoragem localizada em qualquer ponto ao longo do comprimento do cabo, que pode ser usada para tensionar um dado comprimento do cabo sem a necessidade de cortá-lo. Normalmente usada em intervalos de concretagem para possibilitar a antecipação da protensão e remoção da fôrma.

**Ancoragem Passiva**

Ancoragem da ponta final do cabo, normalmente colocada e fixada numa das extremidades do cabo antes deste chegar ao local da obra. Não é usada para aplicar a protensão ao cabo.

**Atrito Devido às Oscilações Inevitáveis**

É o atrito causado por desvios horizontais e verticais não intencionais do cabo.

Bainha Plástica

Material de cobertura formando um revestimento no qual o aço de protensão (cordoalha) fica contido para evitar a aderência durante a colocação do concreto, para promover proteção contra a corrosão e conter o envolvimento de graxa inibidora de corrosão. É feita de polietileno de alta densidade que é extrudado diretamente sobre a cordoalha envolvida em graxa.

Balanço

Qualquer peça estrutural horizontal, projetada além do seu apoio vertical.



Barras de Aço Complementares

Aço de reforço (vergalhão) usado para controlar a distribuição das forças de tração no concreto, resultantes da concentração das ancoragens desenvolvidas pelos cabos tracionados.

Cabo

O conjunto completo consistindo dos dispositivos de ancoragens, aço de protensão (cordoalha), revestimento de graxa e bainha plástica. Eles proporcionam a força de protensão que vai para o concreto.

Cabo Aderente

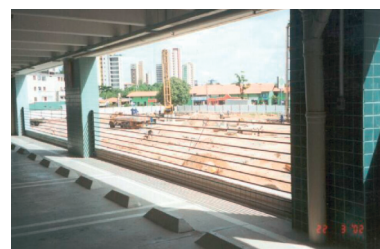
Cabo com um espaço anelar entre a cordoalha de protensão e uma bainha geralmente metálica, injetado com pasta de cimento e água, que depois de tracionado promove a aderência do cabo à seção de concreto que o envolve.

**Cabos Adicionais**

Cabos normalmente curtos colocados em locais específicos, tais como caixas/nichos, para incrementar a capacidade estrutural do local sem que se tenha de usar cabos com o comprimento total da laje ou viga.

**Cabo Barreira**

Cordoalhas de aço de alta resistência esticadas ao redor do perímetro da estrutura e nas extremidades das rampas para evitar que automóveis e pedestres caiam pelas laterais dos edifícios garagem. São cabos que não contêm graxa. Ao lado, o Shopping Center Iguatemi – Fortaleza, CE.

**Cabo Monocordoalha**

Cabos cujas ancoragens admitem o alojamento de uma só cordoalha.

Cabo Não Aderente

Cabo no qual o aço de protensão (cordoalha) é impedido de aderir ao concreto e fica livre para se mover em relação ao mesmo, assim, a força de protensão é permanentemente transferida para o concreto somente pelas ancoragens.

Cabos Distribuídos (Regularmente Distribuídos)

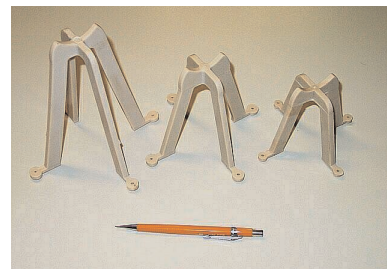
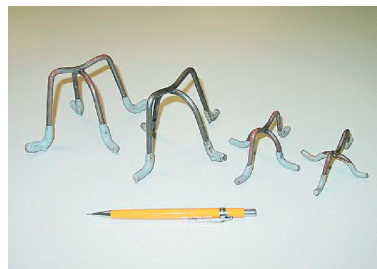
Cabos simples ou em grupos, uniformemente distribuídos, normalmente perpendiculares aos cabos em faixa (vigas, paredes, etc.) e espaçados no máximo 8 (oito) vezes a espessura da laje, ou a 1,50 m.

Cabos em Faixa

Grupos de cabos proximamente espaçados colocados juntos em uma faixa estreita, normalmente ao longo da linha de pilares. Essa faixa simula vigas na espessura da laje. Cabos em faixa ligando os pilares, do canto inferior esquerdo ao superior direito da foto ao lado.

**Cadeira**

Dispositivo metálico ou plástico usado para apoiar e segurar os cabos de pós-tração em sua respectiva posição de projeto, prevenindo deslocamentos antes e durante a colocação do concreto.

**Carga Mínima de Ruptura**

Mínima carga de ruptura da cordoalha, definida pela norma brasileira.

Cavidade da Placa de Ancoragem

Furo tronco-cônico na placa de ancoragem, adequado para acomodar a cunha e fixar a cordoalha que passa através dela.

Concreto Protendido

Concreto no qual tensões internas (forças) são induzidas por meio de cordoalhas de aço esticadas. Realizado por dois métodos, protensão pós-tracionada e protensão pré-tracionada.

Concreto Protendido Pós-Tracionado

É geralmente executado nos canteiros de obras. O aço é tracionado após o concreto ter atingido perto de 75% de sua resistência especificada. Nesse momento o concreto é comprimido pelo aço.

Concreto Protendido Pré-Tracionado

É produzido em fábricas de construções pré-fabricadas protendidas. O aço é tracionado antes do lançamento do concreto e suportado por estruturas colocadas nas extremidades de longas pistas de pré-fabricação. Depois disso o concreto é lançado, envolve e adere às cordoalhas. Assim que o concreto atingiu cerca de 75% da resistência especificada, faz-se a transferência da força das cordoalhas para o concreto cortando-se as cordoalhas entre ele e a estrutura da extremidade da pista. A efetiva aderência das cordoalhas ao concreto faz o mesmo ser comprimido.

Contra-Flecha

Deformação das peças estruturais para cima, propositalmente provocada pelo ajuste das fôrmas ou causada pela aplicação da força de protensão.

Cordoalha

Arames de aço de alta resistência enrolados entre si ou ao redor de um fio central. Em cabos não aderentes, a cordoalha de sete fios é usada quase que exclusivamente.

Cunhas

Peça de metal tronco-cônico com dentes que mordem o aço de protensão (cordoalha) durante a transferência da força de protensão do macaco hidráulico para a ancoragem. Os dentes são adoçados na ponta mais fina para assegurar o desenvolvimento gradual da força do cabo sobre o comprimento da cunha. Cunhas bipartidas são normalmente usadas para cabos monocordoalhas.

Deformação Lenta

Deformação dependente do tempo (encurtamento) do concreto sob tensão constante.

Desenhos de Instalação

Desenhos detalhados fornecidos pela firma de protensão ou projetista, contendo informações como: número, diâmetro, comprimento, marcação, localização, alongamento e perfil de cada cabo a ser colocado.

Desprotensão

Meio de liberar a força de protensão do cabo.

Dispositivo para Ancoragem Provisória

Placa de ancoragem especial usada para mudanças estruturais ou reparos dos cabos existentes. Tem um segmento removível que permite colocá-la sobre a cordoalha existente. O segmento é então recolocado e apertado com parafusos.

**Documentos do Contrato**

Além do próprio contrato, são as instruções, regras, desenhos de montagem, manuais, etc., que são referidos no contrato entre o proprietário / construtor / empreiteiro / montador e outros.

Emenda

Peça normalmente feita com molas que unem duas pontas de cordoalhas e assim emendam e transferem a força de protensão de ponta a ponta do cabo.

**Encurtamento Elástico**

Encurtamento da peça de concreto que ocorre imediatamente após a aplicação da força de protensão.

Equipamento de Tensionamento

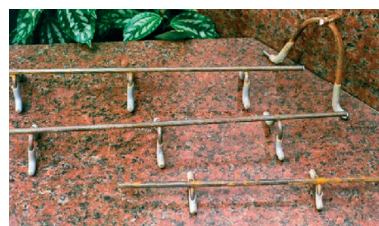
Consiste normalmente de macaco, bomba hidráulica de alta pressão, mangueiras e manômetro de pressão.

**Estouro**

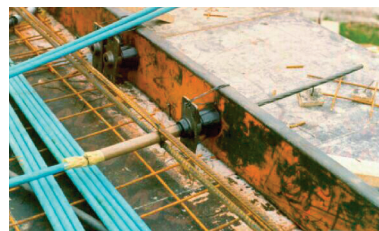
É o colapso (rompimento) do concreto durante ou após a protensão, devido a diversas causas. Pode ser considerado como uma explosão.

Espaçador Contínuo

Dispositivo contínuo usado para suportar os vergalhões e os cabos na parte inferior das lajes e promover seu cobrimento adequado.

**Extremidade Ativa**

Ponta do cabo na qual a força de protensão é aplicada. Na foto ao lado, pontas de cabos em colocação através das ancoragens e da fôrma de borda metálica.

**Ferramenta de Fixação Manual**

Uma pequena peça manual usada para alinhar corretamente (fixar) as cunhas na placa de ancoragem antes da colocação do macaco na cordoalha para protensão.

Fôrma de Borda

Usada para limitar a distribuição horizontal do concreto fresco em superfícies planas.

Fôrma para Nicho

Peça plástica de utilidade temporária usada na extremidade ativa durante o lançamento do concreto para moldar uma abertura (nicho) no mesmo, que permita ao equipamento de protensão acessar a cavidade da placa de ancoragem.

Na foto ao lado, uma fôrma plástica para cabo utilizado para atravessar a fôrma de borda com ângulo de 45°.

**Força**

É o produto da massa de um objeto pela sua aceleração.

Tensão

Força interna que age em todas as partes de um corpo.

Força do Macaco

Força temporária exercida pelo macaco quando se introduz a força de protensão no concreto, tracionando-se o cabo.

Fôrma para Nicho Dividida

Peça plástica de uso temporário composta de duas partes. Usada em ancoragens intermediárias durante a moldagem do concreto para promover um nicho no concreto, permitindo que o equipamento de protensão acesse a placa de ancoragem.

Instalador (Armador, “Gato de Armação”)

Empresa fornecedora de mão-de-obra de armadores, que pode ser a mesma que corta, dobra e/ou monta (instala) as armaduras passivas de aço CA-50 e CA-60 da obra.

Kip

Um Kip = 1.000 libra força (Um Kip = 4,44 kN)

Laço

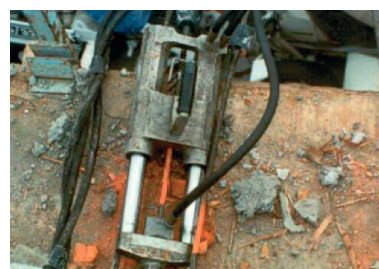
Tipo de ancoragem passiva (também chamada de “morta”, pois é embutida no concreto sem possibilidade de ser acessada) formada por uma cordoalha praticamente dobrada ao meio fazendo um arco de circunferência de aproximadamente 30 cm de diâmetro, muito usada na protensão aderente. Não deve ser usada com cordoalhas engraxadas e plastificadas, a não ser que sejam totalmente retiradas a capa plástica e a graxa em um comprimento de perto de 1,50 m de cordoalha, para garantir sua aderência ao concreto.

Luva de Emenda Multiuso

Uma emenda que usa uma cunha tripartida e é feita de material resistente o suficiente para uso repetido.

Macaco

Dispositivo mecânico (normalmente hidráulico) usado para aplicar força no cabo de protensão.

**Mandíbulas do Macaco**

Cunhas usadas no macaco para segurar a cordoalha durante a operação de protensão.



Monocordoalha

Cabo cuja ancoragem consegue alojar uma única cordoalha.

Montagem / Instalação

Colocação de todos os componentes do sistema nas fôrmas: cabos, suportes, ancoragens, fôrmas para nicho e emendas, de acordo com os desenhos de montagem.

Nariz do Macaco

Parte frontal do macaco que se encaixa no nicho de tração para alinhar o macaco com a ancoragem.

Película de Concreto

Pasta cimentícia misturada com agregados finos que pode se depositar no furo tronco-cônico da placa de ancoragem.

Perdas por Acomodação da Cunha

O movimento de retorno das cunhas (geralmente entre 5 e 7 mm) dentro da cavidade da placa de ancoragem durante a transferência da força de protensão do macaco para a ancoragem, resultando em perda da força de protensão.

Perdas por Atrito

A perda de tensão (força) em um cabo de protensão resultante do atrito criado entre a cordoalha e a bainha, devida às oscilações inevitáveis e/ou aos perfis de projeto do cabo, durante a protensão.

Perfil

O desenho ou trajetória que um cabo desenvolve no concreto entre uma ponta e outra.

Porta-Cunhas

Peça de metal externamente cilíndrica e com furo tronco-cônico interno que aloja as cunhas, normalmente usada com uma placa para transferir a força de protensão ao concreto.

Placas das Mandíbulas do Macaco

Placas de aço projetadas para segurar no lugar as mandíbulas do macaco durante a operação de protensão.

Placa de Apoio

Placa de metal que se apóia diretamente no concreto e é parte do conjunto de ancoragem.

Placa de Ancoragem

Para cabos monocordoalha, peça normalmente de ferro fundido dúctil, que aloja as cunhas e é usada para transferir a força de protensão para o concreto. O furo tronco-cônico da placa de ancoragem para alojamento da cunha tem a superfície regular, porém, rugosa.

**Ponta do Cabo**

A cordoalha excedente saindo da extremidade ativa da placa de ancoragem, de comprimento suficiente para ser adaptada ao macaco.

Pós-Tração

Método de protensão no qual os cabos são tensionados depois que o concreto está endurecido e com resistência suficiente.

Pressão

Força agindo por unidade de área.

Protensão Inicial

Força atuante no cabo imediatamente após a transferência da força de protensão para o concreto. Isso ocorre depois que as cunhas foram assentadas na placa de ancoragem pelo recuo da cordoalha após a retirada do macaco.

Protensão Parcial

Protensão do concreto em níveis de tensão tais que tensões de tração possam existir sob as cargas de serviço projetadas.

Protender

Colocar o material (concreto) em um estado de compressão, anteriormente à aplicação das cargas.

Protensão Efetiva

A força de protensão num ponto específico de uma peça de concreto, depois que todas as perdas ocorreram.

Resistência

A capacidade de um corpo ou objeto exercer ou resistir a uma força.

Revestimento de Graxa

Material de revestimento para inibir a corrosão de acordo com o critério de performance do Instituto da Pós-Tração (EUA), conforme descrito nas suas "Especificações para Cabos Monocordoalha Não Aderentes".

Sistema Encapsulado

Um sistema constituído de conexões à prova d'água nas ancoragens ativas, intermediárias e passivas, que tem a cavidade ao lado da cunha, posteriormente coberta por uma tampa impermeável cheia de um material inibidor de corrosão.

**Tensão**

O efeito das forças de tração ou compressão em um corpo.

Tracionamento em Etapas

Tracionamento seqüencial dos cabos em passos ou estágios separados ao invés de tensionar todos os cabos durante a mesma operação de protensão.

Zona de Ancoragem

Região de concreto adjacente à ancoragem sujeita às tensões resultantes da força de protensão.

Nota

Práticas locais, costumes e usos regionais podem empregar terminologias, jargões e apelidos diferentes dos termos e definições utilizados neste manual. Verifique com o seu inspetor ou outra pessoa qualificada que possa esclarecer termos e definições.

2. PROTENSÃO

2.1 CONHECIMENTO PRÁTICO DO CONCRETO PROTENDIDO

2.1.1 Concreto Protendido é o concreto armado ao qual se acrescenta mais um carregamento através de cabos de protensão. São peças de concreto, tais como vigas e lajes, nas quais tensões internas são induzidas por meio de aço de protensão.

2.1.2 Para entender os princípios do concreto protendido é importante estar ciente das capacidades estruturais do aço e do concreto. O concreto é muito resistente à compressão, mas relativamente fraco na tração. Uma viga comum de concreto armado suporta uma carga através de tensões de compressão desenvolvidas na sua parte superior e não resiste às tensões de tração na parte inferior; assim, ela fissa (Figura 2-1). Barras de aço de reforço são colocadas na zona inferior para resistir à tração e controlar a fissuração.

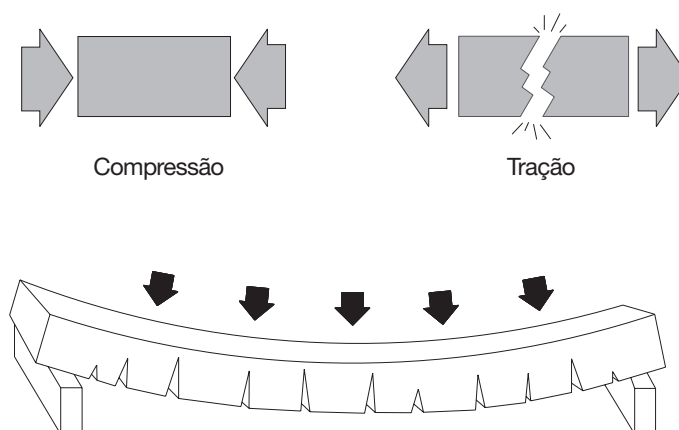


Figura 2-1 Viga comum de concreto armado

2.1.3 Olhando o corte transversal dessa mesma viga de concreto armado, a parte superior está comprimida e a parte inferior, fissurada, está apenas segurando as barras de aço na posição (Figura 2-2). As barras são bastante longas e freqüentemente determinam quão larga a viga deve ser. O diagrama de tensões (Figura 2-2) dará a você uma boa idéia do que está acontecendo com essa viga. O concreto na parte superior não fissurada da viga está comprimido, partindo de zero onde a fissura se inicia até o seu valor máximo junto à face superior. O concreto na parte inferior da viga está tracionado e toda essa tração é suportada pelos vergalhões.

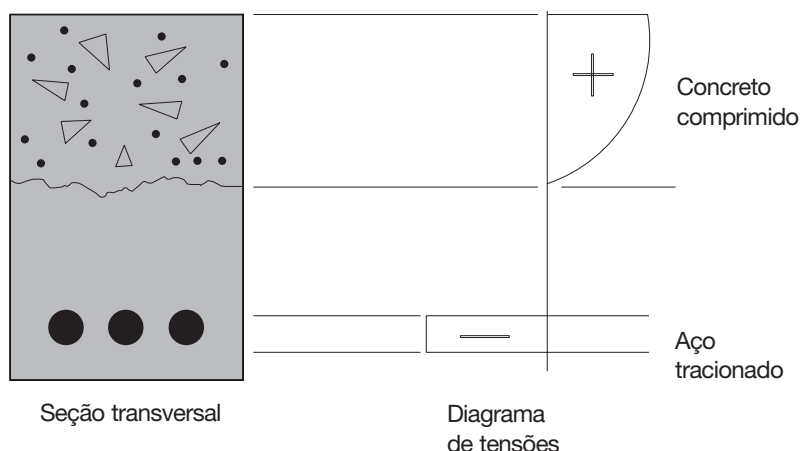


Figura 2-2 Seção transversal e diagrama de tensão de uma viga comum de concreto armado

2.1.4 Considere uma cordoalha de aço de alta resistência com tensão de ruptura de 190 kgf/mm² [1860 MPa], que tracionamos dentro do seu limite elástico de aproximadamente 142 kgf/mm² [1490 MPa] (Figura 2-3). Se tivéssemos que liberar essa tensão, o aço retornaria ao seu comprimento original.

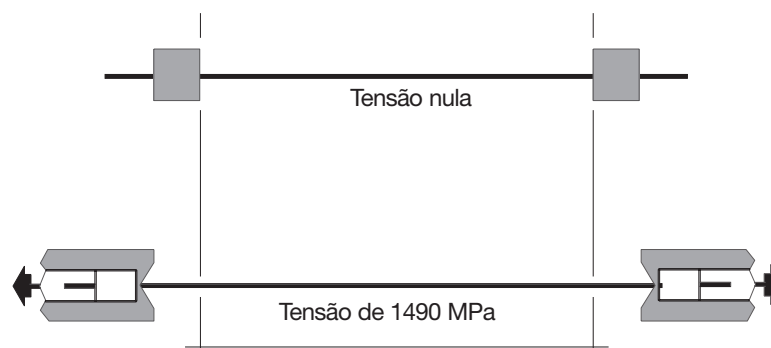


Figura 2-3 Tracionamento de uma cordoalha de sete fios categoria 190 kgf/mm² (1860 MPa), Ø 12,7 mm.

2.1.5 Em concreto pós-tracionado, até que o concreto durante a cura atinja aproximadamente 75% de sua resistência total, o cabo não é puxado (tensionado). Entretanto, ambos, concreto e cabo não têm qualquer tensão (Figura 2-4.1).

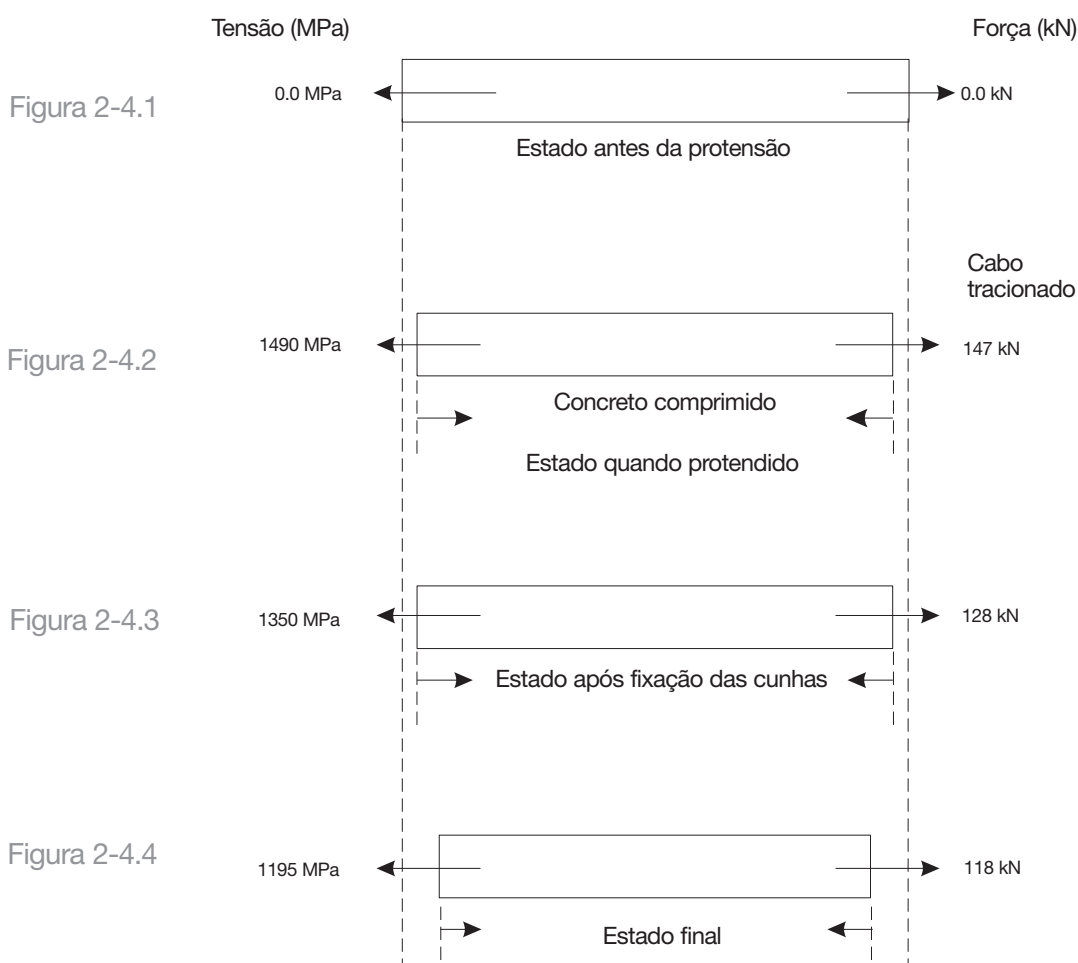


Figura 2-4 Força e tensão em vários estágios de tensionamento

Tracione (alongue) o cabo até 147 kN (1490 MPa para a cordoalha de 12,70 mm) que é o seu limite elástico, apoiando o macaco hidráulico no concreto e reagindo contra ele, comprimindo-o. Agora o cabo está tracionado e o concreto comprimido (Figura 2-4.2).

No próximo passo, as cunhas das ancoragens mordem o cabo quando o macaco o solta. Nessa transição, o alongamento inicial do cabo é parcialmente diminuído devido à cravação das cunhas ("Perda por Acomodação da Ancoragem"), assim como uma pequena porção da força inicial aplicada é perdida pelo encurtamento elástico do concreto e do atrito do cabo. Isso reduz a tensão do cabo para aproximadamente 128 kN (1305 MPa para a cordoalha de 12,70 mm) (Figura 2-4.3).

Então, por um longo período de tempo (de 1 a 5 anos), outro volume de mudanças ocorre no concreto. O aço irá relaxar ligeiramente, resultando em uma tensão final depois de todas as perdas de aproximadamente 118 kN (1195 MPa para a cordoalha de 12,70 mm) (Figura 2-4.4).

2.1.6 Um diagrama de tensão ilustraria alguma coisa como o esboço mostrado na parte superior da Figura 2-5. Aplicamos uma força horizontal no centro da viga, que resultou em uma tensão de compressão uniforme na seção transversal. Cada cm^2 está resistindo a uma mesma força. Nota-se, que ao contrário da distribuição de tensão no concreto armado, a viga protendida utiliza a totalidade da seção.

No diagrama inferior, a força de protensão é movida para baixo, a $1/3$ da altura. O resultado é tensão zero na parte superior e duas vezes a compressão original na parte inferior. Assim, criamos uma reserva considerável de tensão de compressão na parte inferior da viga, que pode ser usada para contrabalançar as tensões de tração resultantes das cargas que forem aplicadas.

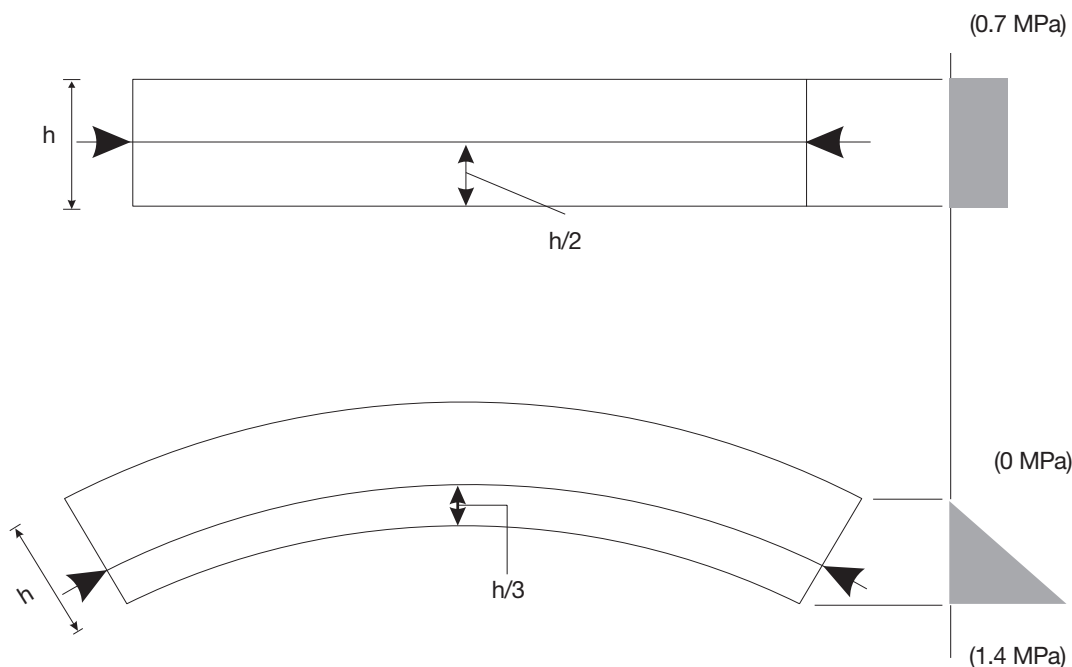


Figura 2-5 Diagrama de tensões da força de protensão

2.1.7 A Figura 2-6 mostra a mesma viga com uma carga vertical aplicada (carregamento) no centro do vão. A distribuição de tensões no concreto devido à força de protensão permanece a mesma conforme mostrado na Figura 2-5. No meio do vão de uma viga simplesmente apoiada, a carga aplicada e o peso da viga desenvolvem tensões de compressão na parte superior e tensões de tração na parte inferior de digamos 1,4 MPa. Agora, adicionando as tensões induzidas pela força de protensão, o resultado é tensão zero na parte inferior da viga. Como já comentado, temos uma força de protensão aplicada para contrabalançar as tensões resultantes do carregamento. Na prática atual, o engenheiro estrutural tem ação considerável no controle dessas tensões em todas as partes da viga.

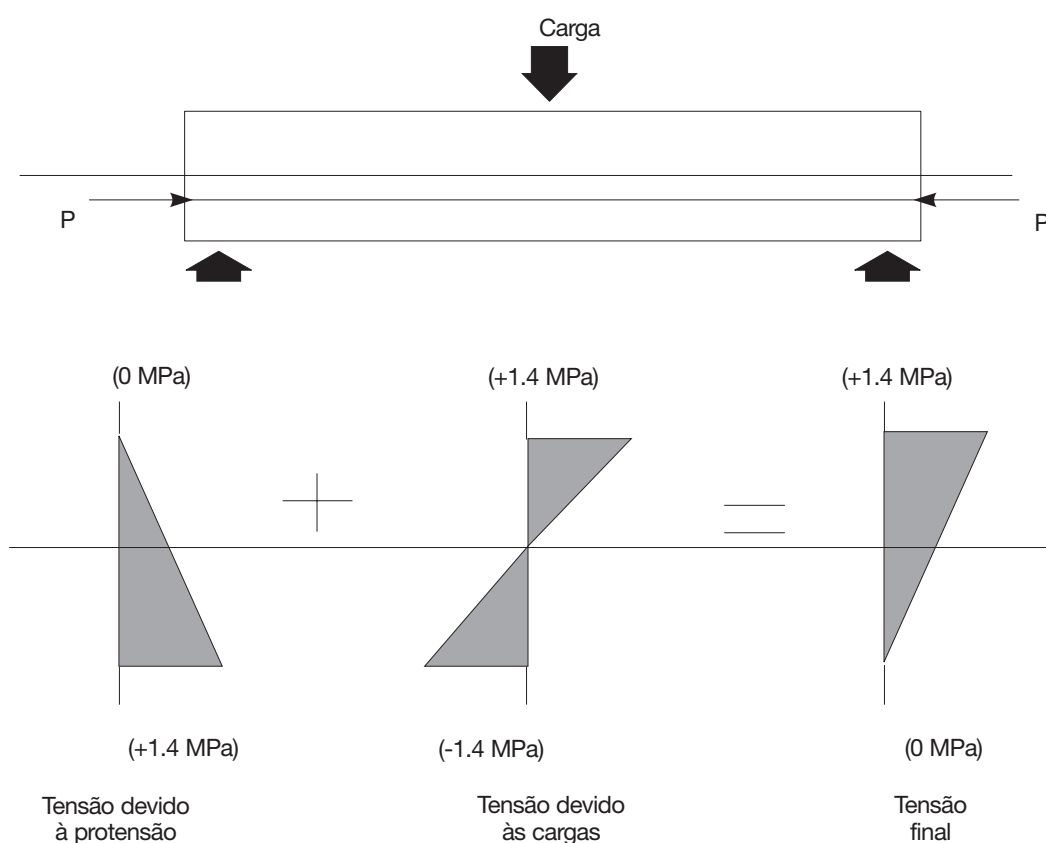


Figura 2-6 Distribuição das tensões resultantes

Concreto Protendido com Pré-Tração

Os cabos são tracionados antes do concreto ser lançado, em uma fábrica fora do canteiro de construção. As peças de concreto protendido pré-tracionado são transportadas para o canteiro de construção.

2.1.8 As vigas ou peças são construídas em uma pista de protensão (Figura 2-7). Primeiro a cordoalha de protensão é tensionada entre os dois contra-fortes ancorados na pista de protensão, que suporta a força de protensão da cordoalha nua tracionada. Depois que o aço é tracionado com os macacos hidráulicos, o concreto é colocado na fôrma envolvendo a cordoalha. Quando o concreto alcança a resistência suficiente, a força de protensão é transferida para ele por aderência, quando a cordoalha de aço, na extremidade da viga, é cortada no trecho livre entre a pista de protensão e o contra-forte.



Pistas de protensão em fábrica de pré-fabricados protendidos

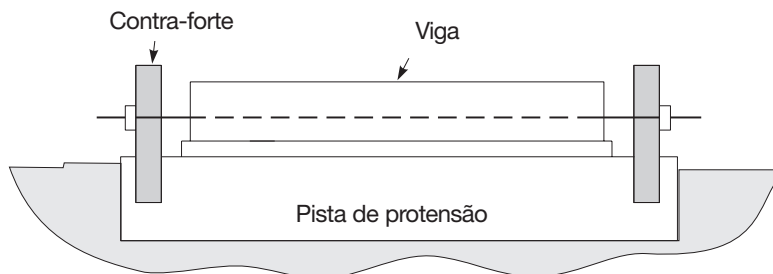


Figura 2-7 Protensão com pré-tração

Concreto Protendido com Pós-Tração

Cabos de aço são tracionados no canteiro de obras depois que o concreto foi lançado e adquiriu a resistência suficiente.

2.1.9 O concreto protendido com pós-tração, com o qual estamos mais preocupados neste manual, é basicamente um método de aplicação de protensão em estruturas e algumas vezes em outras peças no canteiro de obras. A habilidade de protender no canteiro de construção elimina o custo de transporte das peças pré-moldadas e torna possível a utilização dos benefícios da protensão em estruturas de grande extensão, onde não é possível o pré-moldado. As outras vantagens da pós-tração incluem a construção de vãos contínuos e o direcionamento da força de protensão. A pós-tração permite uma larga flexibilidade em variação de projetos e é também freqüentemente utilizada em canteiros de construção para unir e protender seções pré-moldadas menores, produzindo estruturas com grandes e longos vãos.

2.1.10 A sequência de construção em pós-tração também é diferente daquela usada na pré-tração. Primeiro, conforme mostrado na Figura 2-8, as fôrmas são erguidas e os cabos de pós-tração ainda não tensionados são colocados na fôrma em seus devidos lugares. As barras de aço comum aderente também são colocadas nos locais especificados e todo o aço é seguramente amarrado na posição definida pelo engenheiro estrutural. Nesse caso foram usadas as cordoalhas com graxa inibidora de corrosão e revestidas com uma bainha de polietileno de alta densidade.



Figura 2-8 Cabos posicionados nas fôrmas em faixas e distribuídos regularmente

2.1.11 No próximo passo, o concreto é colocado na fôrma envolvendo os cabos até atingir o grau de endurecimento necessário (Por exemplo, o concreto é colocado na sexta-feira e protendido na segunda-feira). (Figura 2-9).



Figura 2-9 Lançamento do concreto

2.1.12 Depois que o concreto endureceu, o aço de protensão (separado do concreto pela bainha de polietileno) é tensionado por um macaco hidráulico que se apóia diretamente na placa de ancoragem embutida no concreto endurecido (Figura 2-10). A força no aço é então transferida para o concreto através dos dispositivos de ancoragem nas extremidades do elemento estrutural.



Figura 2-10 Tracionamento dos cabos

2.1.13 Algumas vantagens do concreto protendido pós-tracionado:

1. Efetivo e eficiente uso de materiais de alta resistência (concreto e aço)
2. Seções mais esbeltas e leves, permitindo estruturas mais atraentes
3. Redução da altura total do edifício pela ausência de vigas (economizando revestimentos externos e outros materiais e serviços)
4. A redução do peso total ou de partes do edifício diminui o custo das fundações
5. Redução do número de pilares e das cargas nas paredes de contraventamento, economizando material
6. O peso menor permite que as cargas devidas a abalos sísmicos sejam reduzidas
7. Vãos longos mais econômicos (menor número de pilares)
8. Melhor controle das flechas
9. Redução das fissuras
10. Construção impermeável
11. Baixo custo da construção resistente ao fogo
12. Custos de manutenção reduzidos
13. Custo de vida útil mais baixo
14. Fôrmas simples e de fácil montagem/desmontagem, resultando em menos mão-de-obra, rapidez na execução e enorme economia
15. A ausência de vigas e a concretagem dos pilares antes da laje resulta em aumento da precisão e da qualidade da estrutura
16. Facilidade de execução dos processos a jusante da estrutura, resultando em menor custo do edifício (muito importante)

2.1.14 O concreto protendido pós-tracionado proporciona as seguintes vantagens em relação ao concreto protendido pré-tracionado:

1. Continuidade estrutural dos componentes (difícil de executar na pré-tração)
2. Protensão em estágios
3. Protensão no campo
4. Perdas de protensão reduzidas
5. Conexões em campo para elementos pré-moldados
6. Construção em áreas limitadas ou de acesso restrito
7. Uso de mão-de-obra e materiais locais
8. Uso de cabos com catenária, diminuindo o custo da armadura frouxa

2.2 TEORIA

As estruturas de concreto em pórtico são basicamente de dois tipos:

1. Laje armada em uma direção ou nervuras apoiadas em vigas suportadas por pilares/paredes.
2. Lajes armadas em duas direções, com ou sem capitéis, suportadas por pilares/paredes.

Os elementos ou componentes dessas estruturas sejam, lajes, nervuras, vigas, pilares e paredes, suportam as cargas neles colocados e permanecem tensionados em cortante, tração e/ou compressão.

O concreto usado nesses elementos é naturalmente eficiente em relação às tensões de compressão, enquanto os cabos pós-tracionados e as barras de aço comum são naturalmente eficientes em relação às tensões de tração (Figura 2-2). Deste modo, usando esses dois materiais em combinação, pode-se criar uma estrutura econômica, segura e muito competitiva em relação a outros materiais.

2.3 PROTENSÃO PARA SE OBTER UM BALANCEAMENTO DE CARGAS

Um conceito útil é principalmente visualizar a protensão como uma tentativa de balancear as cargas sobre um componente da estrutura (Figura 2-11). Um componente tal como uma laje ou viga, sob a ação de seu peso próprio ou sob a ação de seu peso e de uma carga uniforme (W_{aplicada}), sofre flecha para baixo. Quando os cabos são colocados em um determinado componente formando uma curva parabólica e tracionados, eles exercem uma carga uniforme para cima ($W_{\text{balanceada}}$) sobre o componente. Pode ser calculado o montante de tracionamento ou o número de cabos requeridos para contrabalançar toda ou parte da carga da gravidade para baixo.

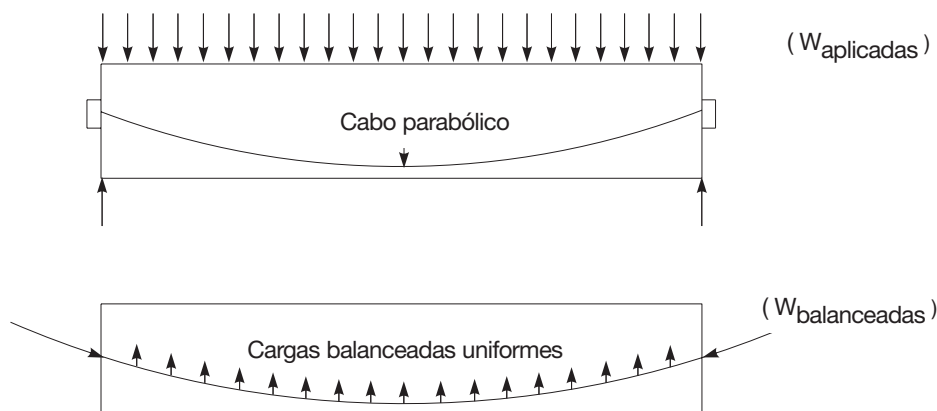


Figura 2-11 Conceito de forças em um componente em concreto protendido

2.4 PROTENSÃO PARCIAL OU TOTAL

Quando um componente da estrutura é projetado para - sob condições de carga de trabalho - não haver nenhuma tensão de tração nele, então o concreto é chamado totalmente protendido. Teoricamente, tal componente necessitaria de substancial quantidade de aço de protensão. Por outro lado, se tensões de tração são permitidas em um componente da estrutura sob carga de trabalho, ele é chamado de parcialmente protendido (esse termo é algumas vezes também usado para descrever o processo de aplicação de um percentual da força final antes que a estrutura atinja as 72 horas normais para ser protendida). Para protensão parcial, moderada quantidade de barras de aço comum pode ser requerida para o controle de fissuras sob tração. Por razões econômicas, a protensão parcial é a forma mais comum de protensão usada nas estruturas. Deste modo, aço de protensão é usado para compensar a maior parte do peso próprio e sustentar outras cargas mortas. Ocasionalmente, uma pequena porção de carga viva é também incluída. A tração produzida pelo resto da carga viva é resistida pela combinação de aço tracionado e não-tracionado, resultando em estruturas econômicas. As barras de aço aderentes asseguram o controle da abertura e a distribuição das fissuras que possam ser causadas pelos efeitos secundários ou sobrecargas.

2.5 COMPONENTES CONTÍNUOS DE UMA ESTRUTURA

Figura 2-12 até 2-14 mostram uma peça contínua de 4 (quatro) vãos e 5 (cinco) apoios.

Figura 2-12 mostra as zonas de tração e compressão que seriam produzidas no concreto da peça da estrutura sob efeito de cargas externas uniformes aplicadas. ($W_{\text{aplicadas}}$)

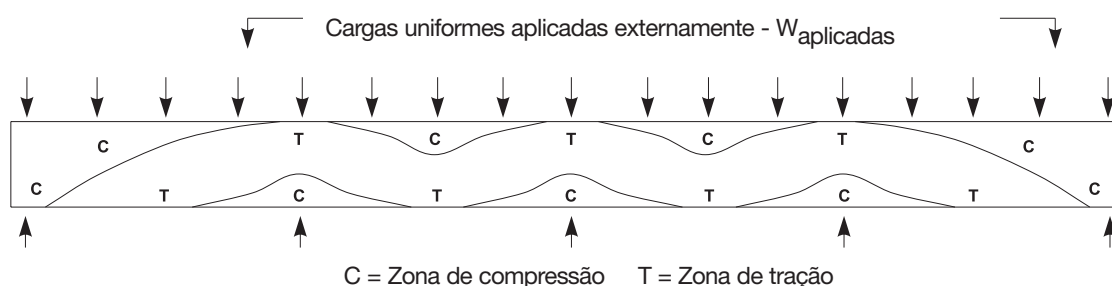


Figura 2-12 Zonas de tração e compressão sob cargas externas aplicadas uniformemente ($W_{\text{aplicadas}}$)

Figura 2-13 mostra o cabo colocado em uma peça da estrutura num perfil parabólico. Quando tracionado, o cabo aplicará internamente cargas uniformes balanceadas ($W_{\text{balanceadas}}$) para cima e para baixo mostradas pelas setas ao longo das partes do cabo entre os pontos de inflexão, isto é, os pontos de reversão na curvatura do cabo.

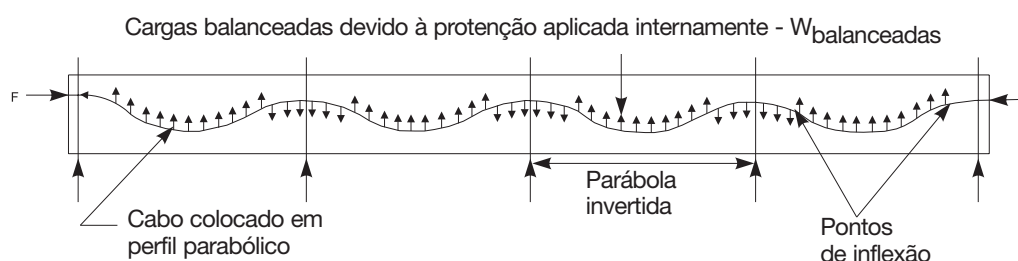


Figura 2-13 Cargas uniformes balanceadas aplicadas internamente ($W_{\text{balanceadas}}$)

Figura 2-14 mostra as zonas de tração e compressão produzidas por cargas uniformes balanceadas aplicadas internamente.

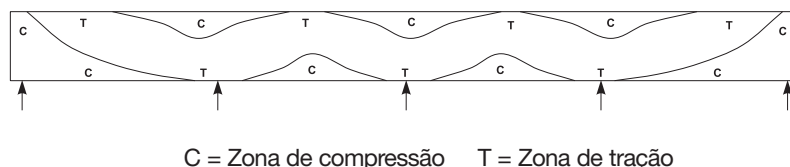


Figura 2-14 Zonas de tração e compressão produzidas por cargas uniformes balanceadas aplicadas internamente ($W_{balanceadas}$)

Comparando as figuras 2-12 e 2-14 vimos que forças para cima componentes da protensão produzem zonas de tensão opostas àquelas produzidas pelas cargas externas, anulando ou reduzindo os efeitos da tensão produzida pelas mesmas e trazendo uma tensão resultante dentro dos limites permitidos pelas normas.

Em casos de vãos significativamente diferentes e/ou diferenças em magnitude de cargas, o engenheiro estrutural pode empregar um número de opções diferentes de projeto. Reduzindo a curvatura dos cabos (ou braço de alavanca) enquanto ainda se mantém a mesma quantidade de protensão ou mantendo a curvatura completa, mas reduzindo a força de protensão, o engenheiro estrutural ainda consegue o mesmo balanceamento de cargas requerido. É importante manter os cabos no perfil correto para atingirmos os critérios de projeto.

2.6 BALANÇOS

Peças em balanço são críticas, pois seu projeto depende do seu comprimento, das cargas aplicadas e da influência dos vãos interiores adjacentes. Durante o estágio de projeto um equilíbrio crítico é conseguido entre a peça em balanço e o vão engastado, conseqüentemente o perfil do cabo da peça em balanço deve ser detalhadamente observado.

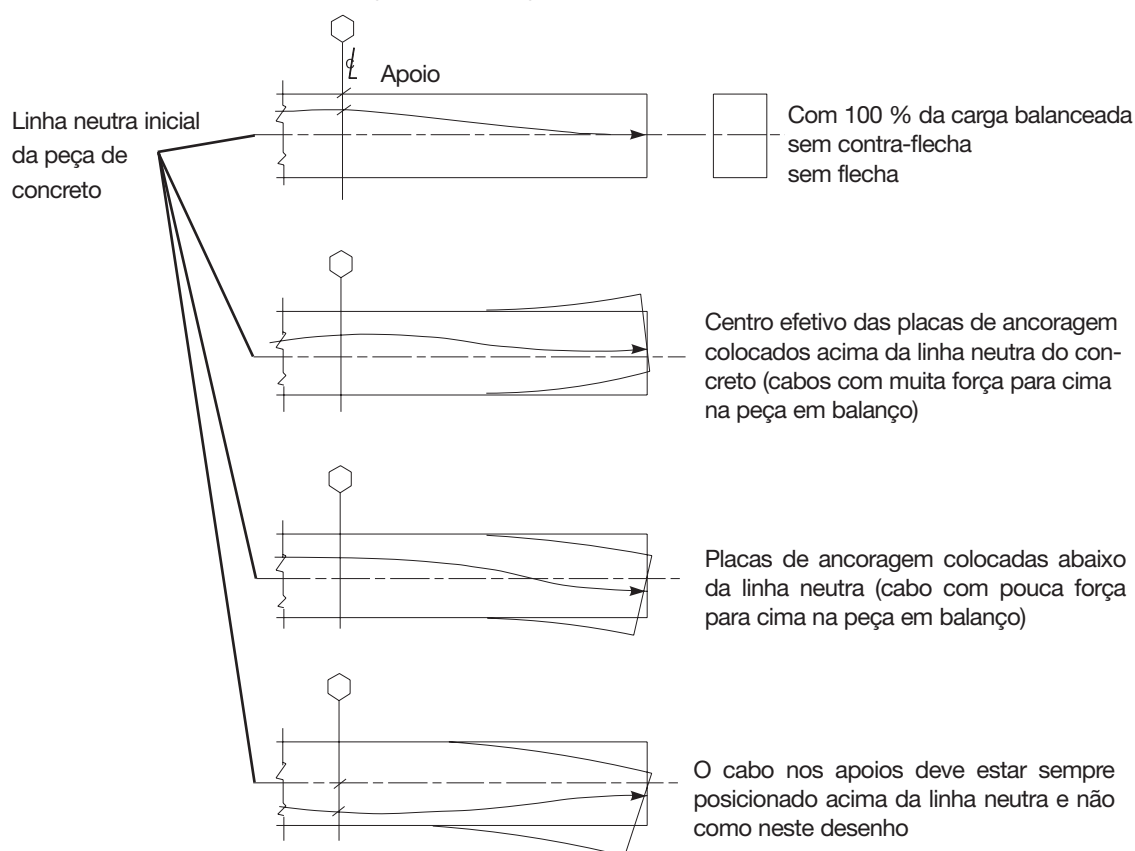


Figura 2-15 Efeito do posicionamento do cabo no comportamento da peça em balanço

3. FABRICAÇÃO

3.1 FABRICAÇÃO DAS CORDOALHAS

Os procedimentos de fabricação de cabos não aderentes devem estar de acordo com as exigências do Instituto da Pós-Tração americano (PTI) "Especificações para Cabos Monocordoalha Não Aderentes", publicado em julho de 1993.

O primeiro passo no processo de fabricação é o cobrimento da cordoalha com graxa (Figura 3-1).

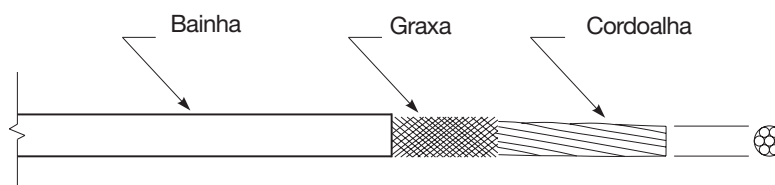


Figura 3-1 Cordoalha coberta de graxa revestida com bainha plástica

A cordoalha de aço é a mesma utilizada na protensão aderente. Depois de fabricada em comprimento de aproximadamente 11.000 metros, ela é levada ao equipamento de engraxamento e extrusão do plástico (Figura 3-2).



Figura 3-2 Rolo de cordoalha nua

A cordoalha nua é coberta com graxa inibidora de corrosão e então revestida com a bainha plástica (Figura 3-3). O processo começa passando a cordoalha por um aplicador de graxa que recobre a cordoalha uniformemente com a quantidade exata de graxa inibidora de corrosão. A cordoalha coberta de graxa segue pela máquina extrusora que aplica e regula a espessura adequada de plástico derretido. Posteriormente a cordoalha passa por uma canaleta de água para que seja resfriada antes de ser novamente enrolada.



Figura 3-3 Processo de extrusão

A bobina de 11t com a cordoalha revestida pela bainha plástica (Figura 3-4) é então transferida para a linha de corte onde é cortada em bobinas menores, de até 3t, para despacho aos clientes (Figura 3-4A).



Figura 3-4 Bobina com 11t de cordoalha

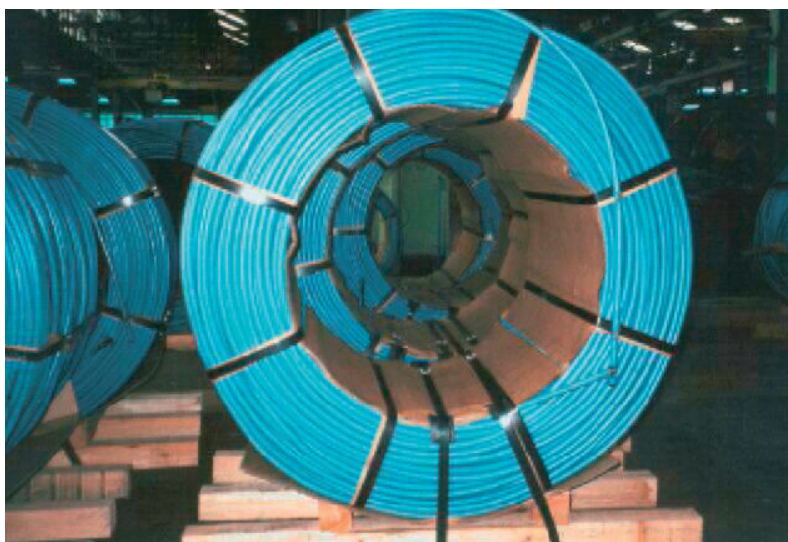


Figura 3-4A Bobina com 3t de cordoalha plastificada pronta para despacho

3.2 FABRICAÇÃO DOS CABOS

Recebidas as bobinas, a firma de protensão ou a própria obra providencia o corte das cordoalhas nos comprimentos do projeto. Em seguida recebem uma ancoragem pré-cravada em uma das extremidades formando cabos monocordoalhas. São então etiquetados e identificados para transporte.

Todo cuidado deve ser tomado para assegurar que as ancoragens passivas estejam fixadas de acordo com as diretrizes da firma de protensão. Os cabos cortados e enrolados são cin-
tados juntos usando uma amarração de aço com um material de proteção entre os cabos
enrolados e a amarração, pois, assim, a bainha plástica não será danificada (Figura 3-5).
Todos os cabos enrolados devem ser identificados com o nome da obra, número do pavi-
mento, concretagem, etc. Só então os cabos enrolados são carregados em caminhões e
remetidos para o canteiro de obras (Figura 3-6). Uma vez entregues, o armazenamento,
o manuseio e a colocação dos cabos é de responsabilidade da construtora e/ou do insta-
lador.



Figura 3-5 Estoque de cabos cortados e enrolados, com ancoragens pré-blocadas, devidamente etiquetados. Amarração com arame cabo a cabo. Para amarração de conjuntos de cabos deve ser usada cinta protetora para não danificar a bainha plástica



Figura 3-6 Má condição do estoque na obra dos cabos cortados

Para facilitar a identificação dos cabos e seus respectivos comprimentos, alguns projetistas estruturais já definem em seus projetos a marcação dos cabos com tinta spray por meio de uma combinação de três cores. Assim o instalador pode identificar mais facilmente a diferença de comprimento entre os cabos.

4. DOCUMENTOS DE CONTROLE PARA UMA OBRA DE PROTENSÃO

4.1 GERAL

Certos documentos têm um papel importante no sucesso da construção de qualquer projeto. A disponibilidade, preservação e controle desses documentos irá ajudar a prover uma montagem e protensão sem defeitos. Os documentos pertinentes são: desenhos da cablagem, romaneios, certificados de qualidade dos materiais, calibração dos macacos e os registros da protensão. Este material deve ser mantido com a construtora ou seu designado. Cada um deles será discutido a seguir:

4.2 DESENHOS DE INSTALAÇÃO (CABLAGEM)

A instalação de qualquer elemento da pós-tração deve somente ser iniciada de acordo com os desenhos para construção feitos pelo engenheiro estrutural. Os desenhos devem detalhar o número, tamanho, comprimento, marcação de cores, alongamento, perfil e localização (ambos em planta e elevação) de todos os cabos, assim como o plano dos apoios para os cabos e para o aço de fretagem. É de responsabilidade da construtora ou de seu designado mudar os desenhos depois de aprovados e marcá-los para mostrar as revisões ou substituições em relação aos desenhos revisados e reprovados. Muita atenção para atualizar todas as alterações. Desenhos substitutivos devem ser preservados pelas construtoras ou seu designado.

4.3 ROMANEIOS

Cada remessa de materiais de pós-tração entregue no canteiro de obras deve ser acompanhada por uma lista detalhada dos materiais (placas de ancoragem, cunhas, cadeiras para suporte dos cabos, cabos, macacos e etc.). A quantidade de materiais entregues deve ser conferida com a lista de remessa no momento em que os materiais são descarregados. Discrepâncias devem ser relatadas pela construtora ou seu designado imediatamente após a descoberta. Falha em providenciar a notificação em tempo hábil pode resultar em extensão do prazo de execução da obra.

4.4 CERTIFICADO DOS MATERIAIS

As propriedades físicas dos materiais de pós-tração são descritas por certificados de materiais fornecidos pelo fabricante da cordoalha e pela firma de protensão, quando requeridos nos documentos de contrato. Tais certificados podem acompanhar a remessa para o canteiro de obras ou chegar pelo correio, para a construtora ou seu designado. Todos devem estar disponíveis para consulta quando necessário. Certificados das amostras de material do cabo são mostrados no Apêndice 15.1.

4.5 CALIBRAÇÃO DOS MACACOS

Cada conjunto de equipamentos de protensão (macaco e bomba) disponibilizado pela firma deve ser acompanhado por uma tabela de calibração relatando a pressão no manômetro para a força aplicada no cabo. As tabelas de calibração devem chegar com o equipamento e devem estar disponíveis para uso pela equipe de protensão e inspetores sempre que as operações de protensão são iniciadas. O manômetro da bomba deve estar regulado para mostrar a pressão máxima de protensão. Exemplo da tabela de calibração do macaco é mostrado no Apêndice 15.2.

4.6 TABELAS DE PROTENSÃO

As tabelas de protensão devem estar disponíveis para uso pela equipe de protensão e inspetores do projeto sempre que a protensão é iniciada. É responsabilidade da construtora ou de seu designado remeter imediatamente após a protensão ter sido completada, as tabelas para revisão e aprovação pelo engenheiro estrutural antes do corte das pontas dos cabos.

Exemplo da tabela de protensão é mostrado no Apêndice 15.3.

5. ENTREGA, RECEPÇÃO, MANUSEIO E ESTOCAGEM

5.1 ENTREGA E ACEITAÇÃO

1. Quando o aço é cortado fora do local da obra, todos os cabos enrolados devem ser identificados com o nome da obra, número do pavimento, número da concretagem, etc.
2. Após a entrega é responsabilidade do comprador zelar pela integridade dos materiais e equipamentos para satisfazer as especificações e documentos de contrato. O comprador normalmente transfere a responsabilidade ao instalador.
3. É responsabilidade do instalador conferir o material entregue em relação à lista de remessas no momento em que o mesmo é descarregado. Discrepâncias quanto ao material entregue devem ser relatadas pelo construtor ou seu designado imediatamente após a descoberta. Falha em providenciar a notificação em tempo hábil pode limitar os direitos do comprador de recorrer e resultar em extensão do prazo da obra.

5.2 MANUSEIO E ESTOCAGEM

1. Durante o processo de descarga tenha cuidado para não danificar a bainha plástica. É recomendado o uso de correia de nylon durante a descarga e manuseio dos materiais. A correia de nylon nunca deve estrangular no manuseio dos cabos de aço de protensão enrolados, sempre envolvendo o rolo com a correia e passando-a pelo centro do mesmo. Enganche cada alça da correia no equipamento de içamento. Não use correntes ou ganchos para descarregar os cabos, pois isso pode resultar em danos severos aos mesmos.
2. O processo de descarga deve ser efetuado tão próximo quanto possível da área de armazenamento para evitar manuseio excessivo dos materiais. Múltiplas movimentações de estoque aumentam a possibilidade de danificar a bainha plástica e outros componentes do sistema.
3. Todos os cabos devem ser estocados em uma área seca sobre um estrado para mantê-los isolados do solo. Se forem usadas lonas plásticas para cobrí-los, é responsabilidade do instalador mantê-los cobertos. Quando usadas lonas para proteção dos cabos, elas devem ser colocadas formando uma tenda para permitir a livre circulação do ar por entre os cabos enrolados para evitar a corrosão em consequência da condensação que se forma embaixo da lona. Os cabos não devem ser expostos à água, sal ou outro tipo de elemento corrosivo. Quando o armazenamento por um longo prazo é necessário, os cabos devem ser protegidos da exposição à luz do sol por longos períodos de tempo. O correto armazenamento do material no canteiro de obras é fundamental para a integridade dos sistemas de pós-tração não aderente.
4. As cunhas e as ancoragens devem ser estocadas em uma área limpa e seca e identificadas por pavimento e/ou sequência de concretagem. Esses materiais somente devem ser usados na concretagem programada para elas. Caso as peças programadas para uma concretagem sejam usadas em outra concretagem, o instalador deve notificar a mudança com o propósito de rastreamento. Qualquer movimento de ancoragens e cunhas no canteiro de obras deve ser feito com cuidado para preservar o rastreamento do lote.
5. O macaco e o manômetro da bomba não podem ser separados. Ambos são calibrados como se fossem um só equipamento.

6. Confira imediatamente os registros de calibração do macaco, os quais podem ser enviados separadamente ou podem estar com o romaneio. Localize no manômetro da bomba e no macaco o número correspondente ao registro de calibração. Macacos e manômetros das bombas devem ser calibrados antes de remetidos à obra. Caso haja qualquer discrepância, contate a firma de protensão para resolução. Não espere até o dia da protensão para identificar um problema.
7. Guarde o equipamento de protensão em um lugar seguro, limpo e seco e permita que o acesso aos equipamentos seja feito apenas por pessoal treinado e qualificado.
8. Siga as regras da firma de protensão e instruções relativas ao cuidado, ao uso e à manutenção desses equipamentos. Os equipamentos de protensão não devem ser usados em qualquer outra operação que não a protensão dos cabos.

6. MONTAGEM DO SISTEMA NA OBRA

6.1 GERAL

A montagem dos cabos monocordoalha não aderentes é crítica para a performance da estrutura na qual eles estão incorporados. O uso de tais cabos proporciona muitas vantagens tanto no custo quanto no nível de melhora da performance das estruturas de concreto, quando elas são propriamente projetadas e montadas. Esse capítulo fornece informações aos profissionais de campo envolvido no processo de montagem.

6.2 COORDENAÇÃO DAS FUNÇÕES RELACIONADAS

Enquanto este capítulo trata da instalação de cabos monocordoalha não aderentes, a montagem propriamente dita requer cuidado coordenado de muitas funções independentes, abordadas em vários capítulos deste manual. Indiferentemente de quem assumiu a responsabilidade pela montagem (firma de protensão, construtora ou sub-contratada), é importante que as seguintes áreas de responsabilidade sejam incluídas no controle das partes nomeadas:

1. Conferência e aceitação dos materiais entregues
2. Manuseio e armazenamento no local
3. Revisão de todos os documentos pertinentes antes da montagem e coordenação com outros empreiteiros
4. Segurança relativa ao local
5. Montagem dos cabos monocordoalha não aderentes, ancoragens e acessórios. Os instaladores são responsáveis por todo o esquema de montagem
6. Montagem de todo o aço de reforço
7. Inspeção da montagem antes da concretagem (ver seção 6.7)
8. Supervisão das operações de lançamento do concreto
9. Protensão – inclui preparação, protensão e corte da ponta dos cabos
10. Guarda dos registros gerais – inclui registro de etiquetas de remessas e entregas, desenhos de construção, desenhos e relatórios de “como construída” e manutenção de registros de protensão. Quando um laboratório de inspeção é contratado para manter uma supervisão e anotação da operação de protensão, a firma de protensão pode manter (se desejar) registros de protensão independentes com o propósito de auxiliar

Nota

O item 7 deve ser executado pelo instalador antes de outras inspeções (por arquitetos, engenheiros, inspetor, laboratório independente, etc.), para assegurar que esteja em completa concordância com os projetos e especificações.

Se qualquer uma das responsabilidades acima estiver sendo compartilhada ou organizada por diferentes partes, a coordenação e garantia da qualidade podem ficar comprometidas. Devendo ser, em princípio, função da Construtora.

6.3 PROCEDIMENTOS GERAIS DE MONTAGEM

1. É recomendado que o encarregado no canteiro de obras para a montagem do sistema de pós-tração, tenha um mínimo de 5 (cinco) anos de experiência ou seja um instalador certificado por órgão certificador de mão-de-obra especializada. Sempre que possível, a mesma equipe deve montar e/ou protender a obra completa.
2. É melhor instalar o sistema de pós-tração antes dos conduites elétricos e sistemas hidráulicos, mas depois da montagem das fôrmas de borda, fôrmas de emendas e outros itens embutidos. O local e os perfis dos cabos de pós-tração têm preferência em relação a outros materiais que serão inseridos (incluindo aço de reforço) a menos que o remanejamento do cabo seja aprovado pelo engenheiro estrutural.
3. O encarregado de montagem deve familiarizar-se com os desenhos de montagem da pós-tração e do aço de reforço antes de iniciar qualquer montagem.
4. Geralmente os cabos são remetidos ao local da montagem enrolados e cintados. Esteja atento ao corte das cintas de amarração, pois os cabos enrolados estão comprimidos e quando cortados podem se separar rapidamente.
5. Os cabos amarrados individualmente são como uma mola enrolada e se desenrolarão quando as amarras forem cortadas.
6. Desvios verticais da posição do cabo podem ser tolerados até ± 5 mm em concreto com espessura até 200 mm; até ± 10 mm em concreto com espessura entre 200 mm e 600 mm e até ± 15 mm em concreto com espessura acima de 600 mm. A posição horizontal dos cabos não é crucial. Entretanto, evite oscilações excessivas (curvatura não intencional) nos cabos. Pontos altos e baixos são as posições mais críticas, porém, curvas suaves podem ser mantidas entre estas posições.
7. Quando os cabos são projetados para uso em ambiente agressivo, exige-se que os cabos sejam impermeáveis em todo o seu comprimento (sistema encapsulado). Consulte os desenhos de montagem da pós-tração com o método de montagem próprio. Desde que o sistema esteja projetado para ser impermeável, é responsabilidade do montador e do contratante geral assegurar a integridade do sistema.
8. Quando há garantia de condições no canteiro de obras, ocasionalmente o engenheiro responsável pode permitir a troca de uma extremidade ativa por passiva.

6.4 PROCEDIMENTOS DE MONTAGEM PARA LAJES COGUMELO ARMADAS EM UMA OU DUAS DIREÇÕES

1. A fôrma de borda deve ser marcada mostrando o centro de cada cabo de acordo com os desenhos de montagem. A fôrma de borda também deve mostrar a medida da placa de ancoragem onde possíveis conflitos possam ocorrer.
2. Se ocorrer conflito e a placa de ancoragem não puder ser colocada conforme mostrado no desenho de montagem, consulte o engenheiro de projetos e a firma de protensão.
3. Perfure e corte o orifício na fôrma da extremidade onde as placas de ancoragem ativas serão colocadas, conforme mostrado nos desenhos de montagem da pós-tração aprovados. Isto pode ser executado por outros profissionais.

4. Normalmente aplica-se uma pequena quantidade de graxa inibidora de corrosão na ponta da fôrma para nicho que encaixa na cavidade da placa de ancoragem. Coloque a fôrma para nicho na placa de ancoragem e então coloque esse conjunto no orifício cortado pregando ou amarrando a placa de ancoragem na fôrma de borda. Esse processo pode ser executado por outros profissionais, entretanto, a revisão da montagem durante a colocação é de responsabilidade do instalador. Uma montagem imprópria pode ocasionar problemas durante a operação de protensão. Não permita que a graxa inibidora de corrosão cubra qualquer parte da fôrma para nicho que possa ficar em contato com o concreto.

O encaixe da fôrma para nicho na cavidade da placa de ancoragem deve ser perfeito.

Rejeite qualquer fôrma para nicho que possa permitir a entrada de pasta de concreto na cavidade da placa de ancoragem.

5. É importante que a placa de ancoragem esteja presa apertada e perpendicularmente à fôrma (Figura 6-1). Se tiver algum obstáculo, movimente-o ligeiramente para que tudo possa se ajustar.

Veja a seguir o projeto da protensão. As dimensões dos equipamentos de protensão são mostradas nos desenhos de montagem ou podem ser obtidas da firma de protensão. Se for observado que o tracionamento não pode ser efetuado, será necessário realocar a placa de ancoragem, conforme já discutido no item 2. Em lajes cogumelo armadas em uma ou duas direções, a localização horizontal das placas de ancoragem e cabos não é normalmente crítica e um pequeno movimento horizontal é permitido. Entretanto, o posicionamento vertical dos cabos e a dimensão vertical da placa de ancoragem são críticos e devem ser mantidos dentro das tolerâncias dadas na Seção 6.3, Item 6.

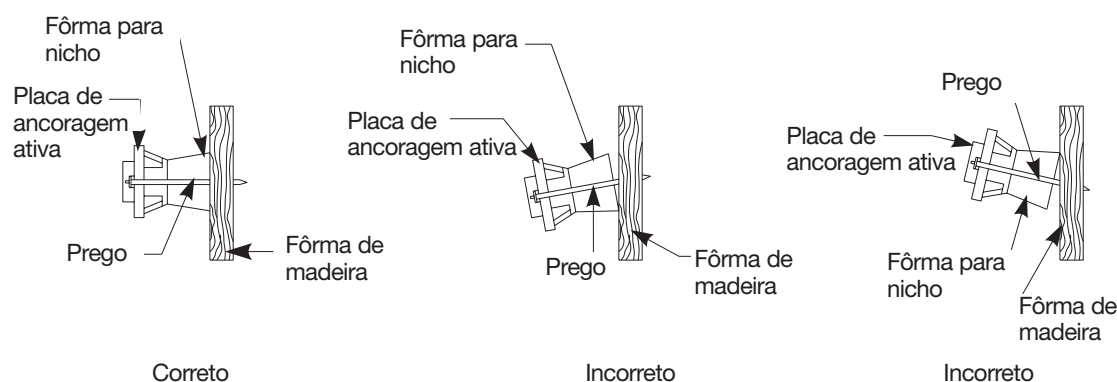


Figura 6-1 Placa de ancoragem e fôrma para nicho sendo instalados perpendicularmente à fôrma de borda

6. Esquematize e marque no assoalho das fôrmas o local das barras de apoio para os cabos, marque em cada local a altura da cadeira mostrada nos desenhos de montagem.
7. Em lajes cogumelo armadas em duas direções, a não ser que os desenhos de montagem especifiquem o contrário, coloque toda a armadura inferior e amarre-a no sistema de apoio.
8. A menos que os desenhos de montagem especifiquem o contrário, coloque todas as barras de apoio inferior nas fôrmas. Barras auxiliares inferiores também devem ser colocadas nas fôrmas. Não as amarre no sistema de apoio neste momento.

9. Selecione os cabos para locação pelo número marcado e/ou código de cores, conforme mostrado nos desenhos de instalação.
10. Nas lajes cogumelo armadas em duas direções de cabos em faixa, a menos que os desenhos de montagem especifiquem o contrário, coloque primeiro os cabos de distribuição uniforme sobre cada pilar, conforme mostrado nos desenhos de montagem da pós-tração (mínimo de dois cabos). Desenrole os cabos em faixa seguidos dos cabos uniformes restantes. Estenda os cabos no local próprio iniciando pela extremidade passiva em direção à extremidade ativa.

Se o cabo não for tracionado em ambos os lados, ao desenrolá-lo você deve deixar uma ponta suficiente do lado de fora da fôrma de borda de cada extremidade ativa (300 mm, a menos que esteja especificado o contrário). Se mais de 300 mm forem deixados em uma das extremidades, a outra extremidade pode ficar curta. Verifique nos desenhos de montagem da pós-tração a respeito destas dimensões.

Se os cabos tiverem uma ancoragem ativa intermediária, eles devem ser estendidos até este local. O resto do cabo deve permanecer enrolado, amarrado e protegido até que tenha início a preparação para a próxima concretagem.

Nos casos onde a seção do meio é concretada primeiro, como por exemplo em uma laje com três seções, uma ponta do cabo deve ser montada na fôrma de borda da primeira ou da última seção, para assegurar que a ponta estará disponível para tracionamento pela outra extremidade da seção.
11. Depois que os cabos estiverem distribuídos, remova a bainha do final do cabo na extremidade ativa para permitir que a cordoalha seja colocada através da placa de ancoragem e da fôrma para nicho (Figura 6-2). Recolha a bainha até que não fique mais do que 25 mm de cordoalha exposta com graxa atrás da placa de ancoragem. Para ambientes agressivos, uma luva de conexão impermeável é requerida entre a parte revestida com bainha plástica e a face da placa de ancoragem.

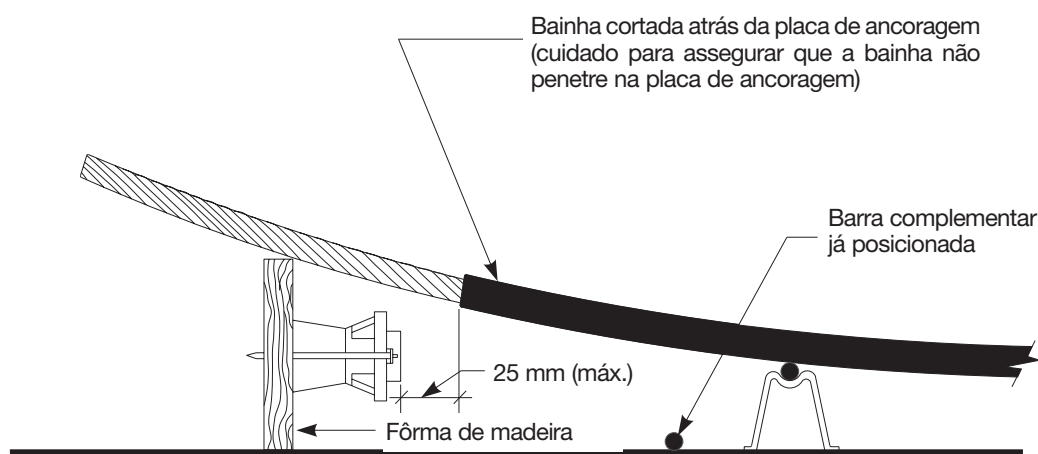


Figura 6-2 Montagem do cabo na extremidade ativa

Nota

Em regiões ou aplicações onde uma proteção para a parte exposta da cordoalha na extremidade ativa é indicada, o tubo deve começar a ser colocado a partir da ancoragem até atingir a parte revestida da cordoalha.

12. A menos que os desenhos dos projetos ou os desenhos de montagem da armadura de pós-tração detalhem o contrário, as zonas de ancoragem dos cabos em faixa, para grupos de 6 (seis) ou mais cabos monocordoalhas com diâmetro de 12,70 mm, com placas de ancoragem espaçadas a cada 300 mm ou menos, devem ser reforçadas de acordo com a Figura 6-3 ou com um detalhe similar usando estribos fechados.

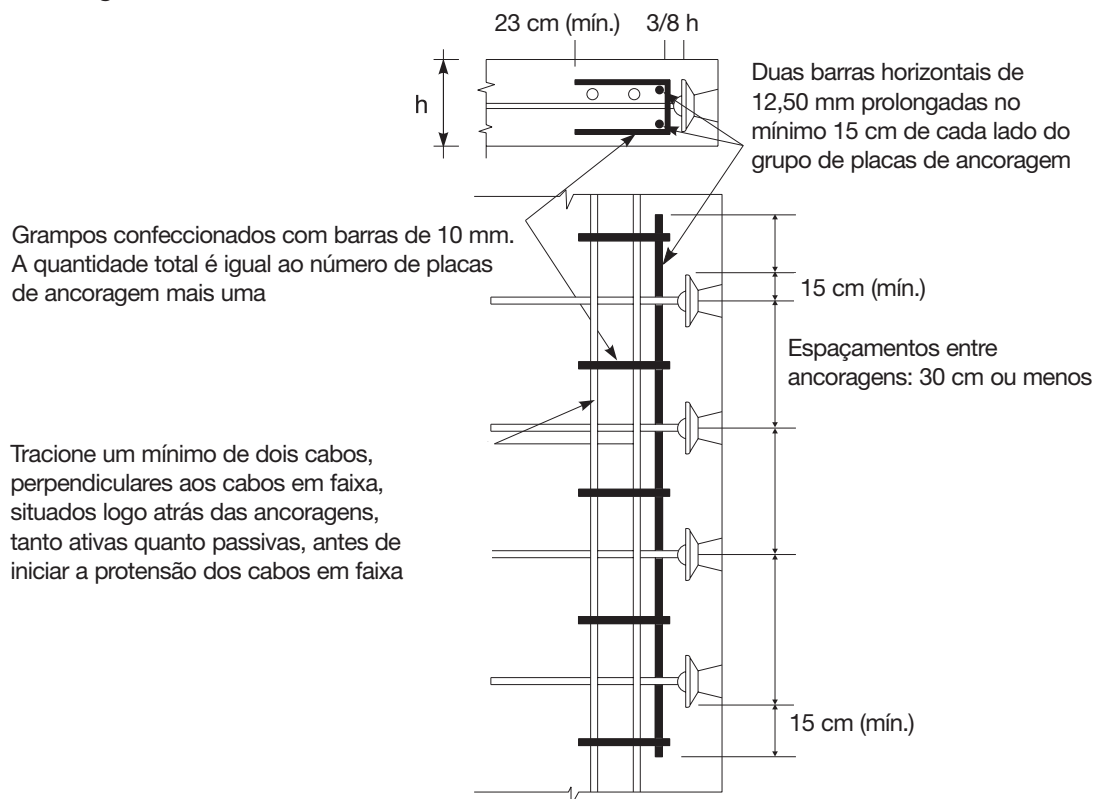


Figura 6-3 Placas de ancoragem em uma laje, com reforços na zona de ancoragem, para grupos de cabos monocordoalhas não aderentes CP190RB com diâmetro de 12,70 mm

13. As fôrmas para nicho são projetadas para evitar que a pasta de concreto entre na cavidade da placa de ancoragem. Não deve haver mais do que 25 mm de cordoalha não revestida exposta atrás da ancoragem na extremidade ativa (caso contrário, pode resultar em alongamento insuficiente e outros problemas durante a protensão). Para evitar que cordoalha revestida fique excessivamente exposta, coloque um tubo plástico, uma luva de proteção ou um pedaço da própria bainha plástica retirada da ponta de tracionamento e insira apertadamente contra a face da placa de ancoragem (Figura 6-4). Fixe com um arame ou fita plástica.

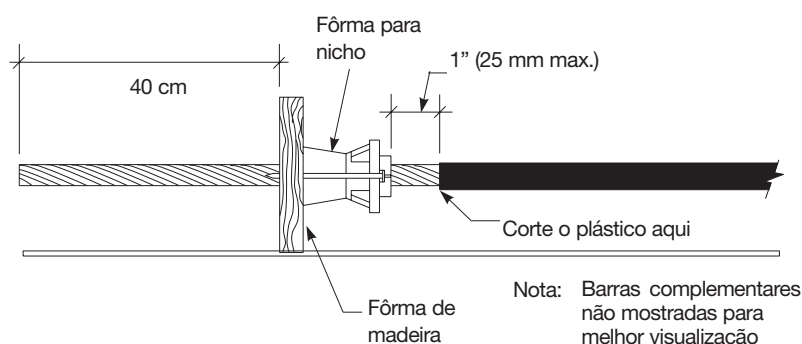


Figura 6-4 Montagem completa da extremidade ativa

14. Os cabos agora estão prontos para serem amarrados no seu respectivo lugar. Os cabos em faixa devem ser amarrados entre si formando grupos de acordo com os desenhos de montagem. Não mais do que 5 (cinco) cabos com diâmetro de 12,70 mm nem mais do que 4 (quatro) cabos com diâmetro de 15,20 mm devem ser cintados em grupos. Amarre o grupo de cabos no cruzamento com o sistema de apoio trabalhando fora da ancoragem passiva. Esteja atento ao amarrar os cabos para não apertar demais com o arame e cortar a bainha plástica. Certifique-se de que os cabos estejam planos e paralelos (não remontando um sobre o outro). Mantenha os grupos na posição indicada nos desenhos de montagem da pós-tração e tão retos quanto possível. Curvas (oscilações) nos cabos podem criar atrito maior do que o normal, o que poderá se refletir em cabos com alongamento baixo.
15. Os cabos devem ser suavemente deslocados na direção das placas de ancoragem (Figura 6-5). Amarre o grupo de cabos no sistema de apoio conforme mostrado nos desenhos de montagem da pós-tração. Verifique a colocação perpendicular dos cabos dentro das placas de ancoragem vertical e horizontalmente. Se isto não for feito corretamente o resultado poderá ser uma ruptura da cordoalha, um estouro do concreto, uma falha na cravação das cunhas, alongamento baixo, perda excessiva na cravação ou outros problemas na protensão.

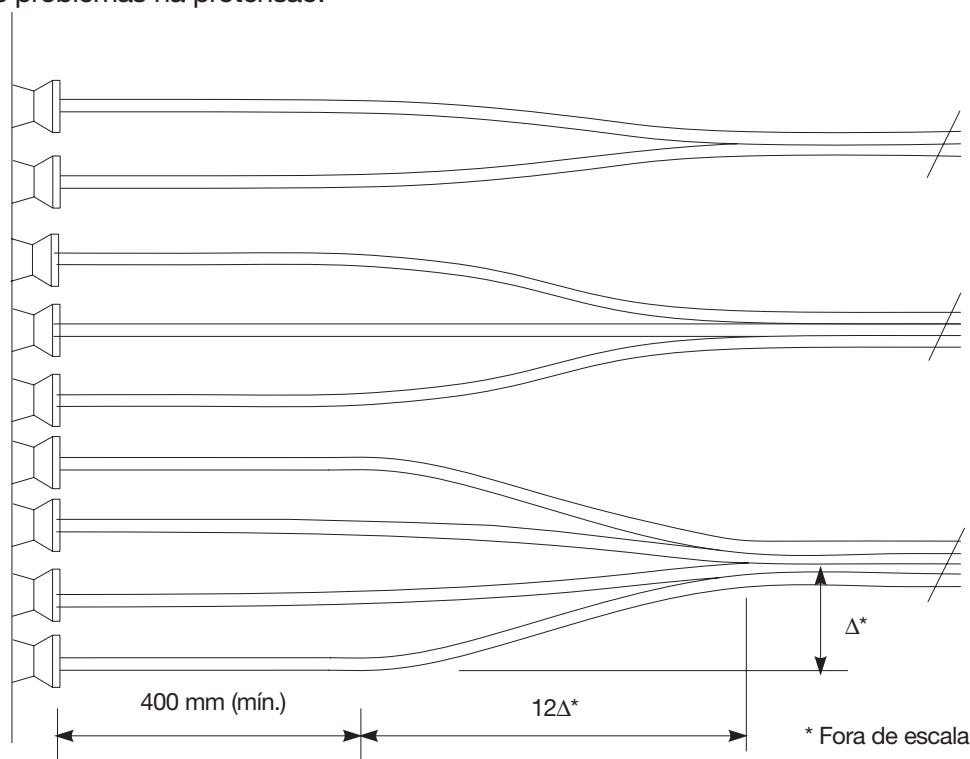


Figura 6-5 Cabos deslocados para as ancoragens

Nota

Reforço na zona das placas de ancoragem e cadeiras de apoio não mostrados para deixar o desenho mais claro.

16. O detalhamento dos cabos desviados em torno de aberturas de tamanho pequeno e médio deve estar de acordo com a Figura 6-6. O espaçamento mínimo de 150 mm deve ser mantido ao redor de toda abertura. Curvas agudas e transições devem ser evitadas.

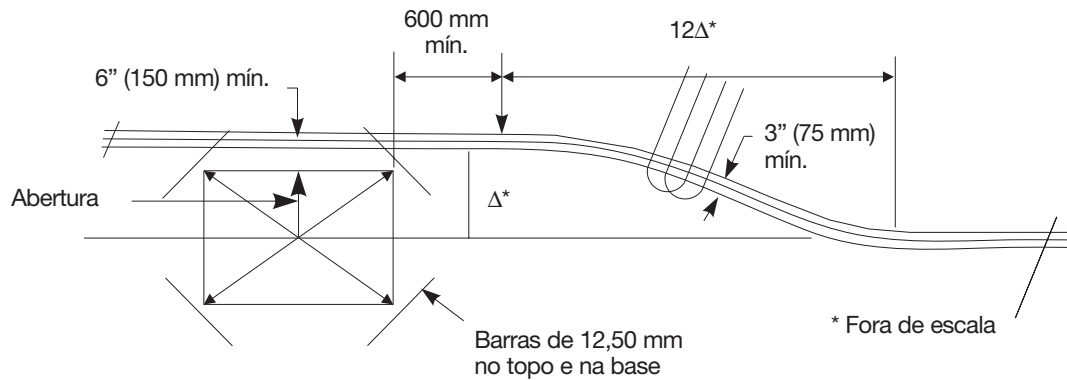


Figura 6-6 Desvio dos cabos ao redor de uma abertura

Para grandes aberturas é sempre desejável reforçar a parte superior e inferior da laje. Utilize - perto das aberturas - barras diagonais para controlar as fissuras iniciadas nos cantos das mesmas. Em alguns casos, reforços estruturais adicionais podem ser necessários ao redor do perímetro da abertura para distribuir cargas aplicadas na abertura da laje. Tais reforços devem ser detalhados nos desenhos dos projetos e nos desenhos de montagem da armadura de reforço.

17. Apóie todos os cabos conforme mostrado nos desenhos de montagem da pós-tração. A amarração do cabo no sistema de apoio não pode causar deformações visíveis (cortes) da bainha. Os cabos devem ser adequadamente apoiados para evitar qualquer movimento durante o lançamento do concreto. O cabo, as barras de apoio e as cadeiras (se usadas) devem ser amarradas juntas, como uma unidade.
18. Em alguns casos, os grupos cintados de cabos são amarrados com firmeza antes que os cabos individuais sejam alocados conforme desenho.
19. As ancoragens passivas devem ser fixadas em suas posições usando uma cadeira de apoio e reforço na zona da placa de ancoragem (Figura 6-7). Não pregue a placa de ancoragem na fôrma.

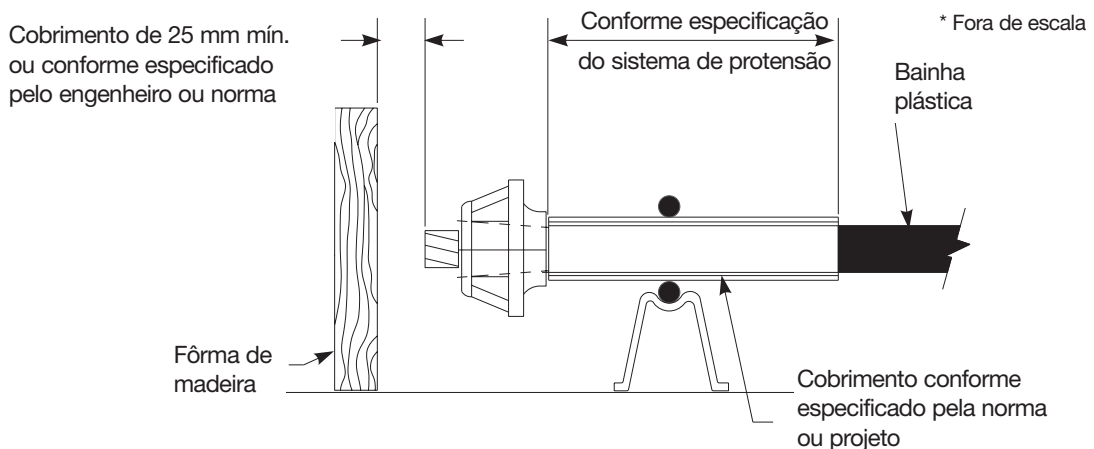


Figura 6-7 Montagem da ancoragem passiva

20. Inspecione a colocação do cabo e repare qualquer bainha danificada conforme requerido pelas especificações.
21. Coloque toda a armadura de reforço superior e amarre no sistema de suporte.

6.5 PROCEDIMENTOS DE MONTAGEM PARA VIGAS E LAJES

1. O sistema de apoio para uma armação de viga deve ser pré-montado e colocado dentro da fôrma. Os estribos devem ser abertos na parte superior para permitir a colocação do cabo. O “Comentary do ACI 318 Building Code” inclui a seguinte discussão e recomendação concernente ao estribo em vigas retangulares:



“...o uso de alguma tela de reforço em todas as partes esbeltas de concreto protendido pós-tracionadas (nervuras, lajes nervuradas, vigas e vigas T) para combater forças de tração em malhas resultantes de desvio local do posicionamento projetado para o cabo e prover um meio de se manter os cabos no perfil projetado durante a construção. Se apoios suficientes não forem providenciados, desvios locais no perfil parabólico do cabo definido no projeto podem ocorrer durante o lançamento do concreto. Quando os cabos em alguns casos são tracionados, as curvaturas pretendidas tendem a se retificar. Este processo pode impor uma grande tensão de tração em malhas e severas fissuras podem se desenvolver se nenhuma tela de reforço for colocada. Curvatura dos cabos não previstas e a resultante das tensões de tração em malhas podem ser minimizados amarrando-se os cabos com firmeza nos estribos que estão rigidamente presos no lugar por outros elementos da gaiola de armação. O espaço máximo de estribos usados com este propósito não deve exceder a 1,2 m”.

Aloque e amarre as barras de apoio no local mostrado nos desenhos de montagem da pós-tração para os estribos.

Esteja certo de que as barras de apoio estão firmes e dentro das tolerâncias verticais dadas na Seção 6.3, item 6 ou nos documentos de contrato. Para facilitar a colocação, as barras de apoio podem ser amarradas na gaiola de armação antes de abaixá-la para dentro da fôrma (Figura 6-8). Os cabos devem ser cintados em grupos, de maneira que permitam o lançamento e adensamento do concreto.

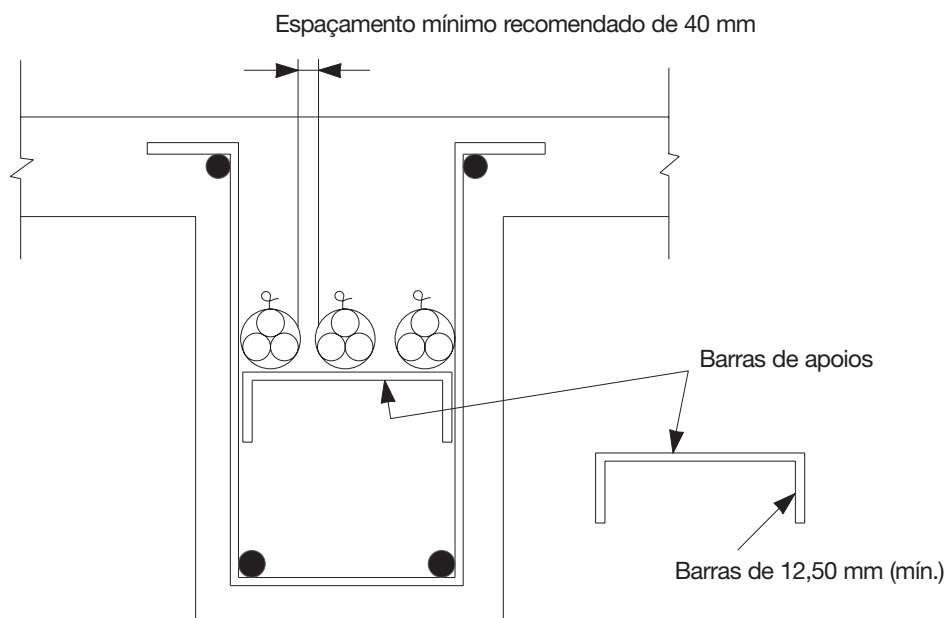


Figura 6-8 Apoio dos cabos na viga

Nota

Atenção especial é requerida se o montador das fôrmas colocar contra-flechas nas mesmas. A colocação dos cabos é crítica em pontos baixos. As barras de apoio dos cabos serão mostradas (a cada metro) na posição +/- central da viga ou laje nos desenhos de instalação. Mas barras adicionais podem ser requeridas para evitar que problemas de curvatura reversa do cabo (Figura 6-9) ocorram. Curvaturas reversas de cabos podem causar estilhaçamento do concreto durante a operação de protensão.

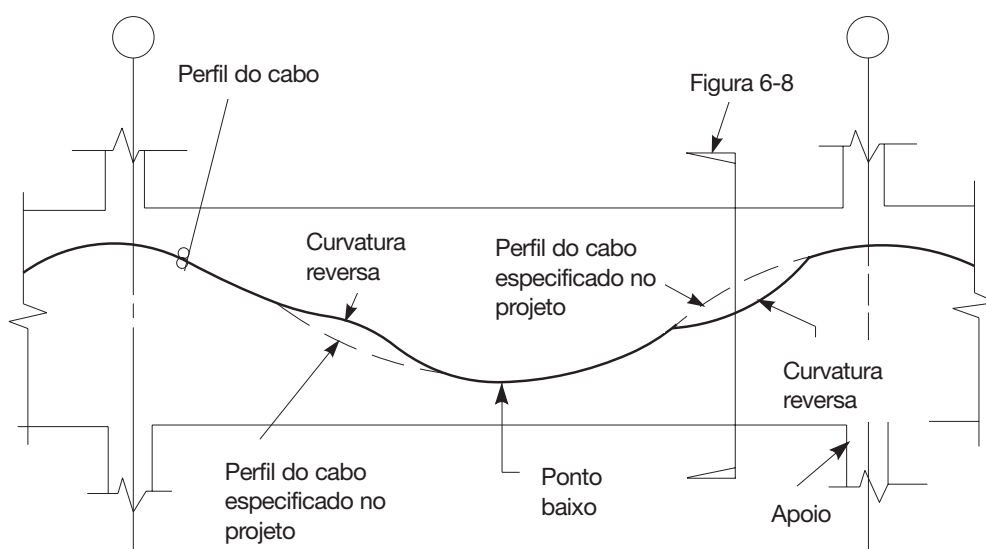


Figura 6-9 Perfil do cabo na viga

2. Os principais cabos da laje são colocados depois que os cabos da viga são montados. Nos casos onde são utilizados cabos para combater a retração, tome como referência os desenhos de montagem para determinar a altura em que os mesmos ficarão posicionados em relação aos cabos da laje. A altura dos cabos para combate da retração irá determinar se os mesmos serão colocados antes ou depois da colocação dos cabos da laje.
3. Para projetos de vigas e lajes nos quais os cabos não aderentes são usados como armadura de reforço e combate à retração, os detalhes recomendados para apoio dos cabos da laje são mostrados na Figura 6-10. Em todos os casos, a maioria dos cabos da laje perpendiculares às vigas devem ser apoiados em cadeiras sobre as fôrmas, conforme mostrado na Figura 6-10.

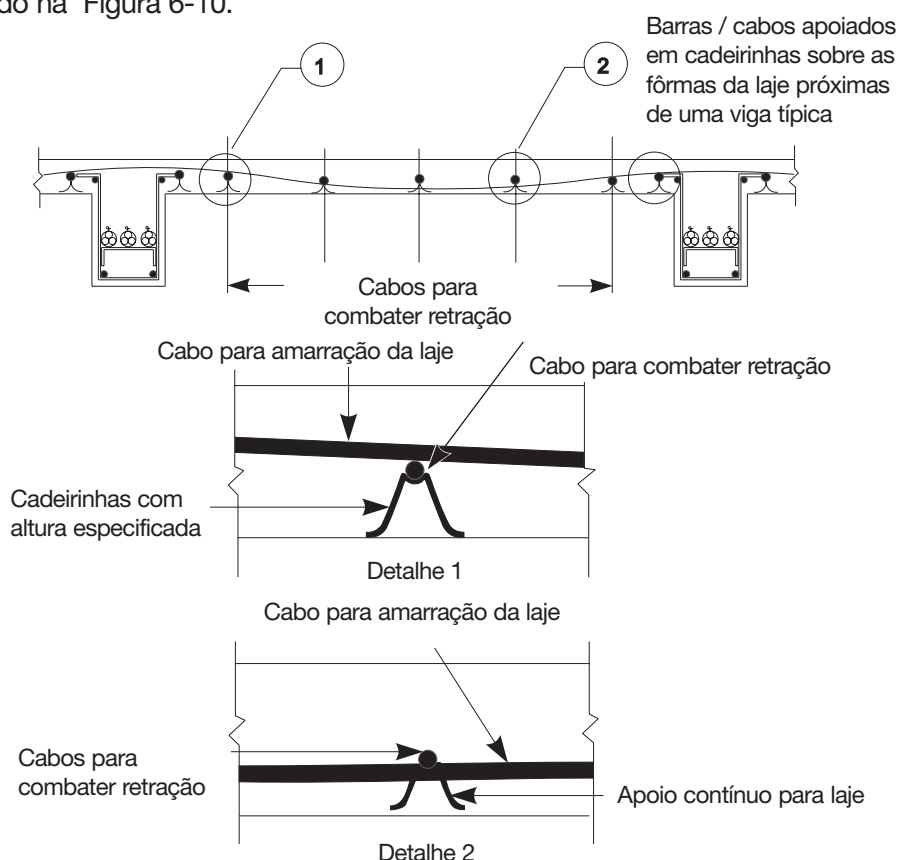


Figura 6-10 Detalhes do uso de cabos não aderentes como armadura de reforço e de combate à retração

4. Coloque o reforço da zona de ancoragens da viga de acordo com a distribuição de ancoragens mostrada nos desenhos de montagem.

A distribuição das ancoragens em uma viga pode conflitar com os vergalhões dos pilares e a armação de vigas. Consulte o engenheiro de projeto e a firma de protensão antes de modificar as posições das ancoragens.

O aço de reforço da zona de ancoragem é crítico, para evitar os estouros/rompimentos do concreto durante o tracionamento. O aço de fretagem é detalhado nos desenhos de montagem da pós-tração.

5. Siga os procedimentos gerais dos itens 10 a 21 da Seção 6.4.

6.6 MONTAGEM DE ANCORAGENS PASSIVAS NO CAMPO

A colocação das ancoragens passivas nos cabos (pré-blocagem) é normalmente efetuada na empresa de protensão ou fornecedora dos cabos cortados.

O corte dos cabos a partir das bobinas e a montagem das ancoragens passivas em uma das pontas de cada cabo, podem também ser feitos na própria obra. Essa operação é possível quando a obra possui espaço suficiente para: estoque e manuseio das bobinas; mesa/estrado com comprimento suficiente para estender os cabos; estoque e manuseio dos cabos cortados. Além disso, os envolvidos nessas operações devem estar aptos para tal e orientados por encarregado experiente nesse tipo de serviço. Deve ser feito o registro dos cabos cortados para permitir a rastreabilidade.

Outra situação onde a colocação das cunhas no campo poderá ocorrer é em juntas intermediárias de construção. A razão disto ser especificado nos desenhos de montagem é primeiramente eliminar a demora do tracionamento dos cabos em juntas de construção. Isto permite que o empreiteiro faça sua próxima concretagem independentemente da primeira concretagem ter sido protendida e desde que o tracionamento seja externo à laje.

Os procedimentos para as duas condições são similares. Primeiro tire de 300 a 400 mm de capa plástica exatamente do lado de trás da placa de ancoragem, para deixar suficiente comprimento para as garras do macaco. Coloque a placa de ancoragem no local desejado e assente as cunhas manualmente com uma ferramenta de assentamento manual.

A firma de protensão normalmente fornece uma peça especial para apoio da placa de ancoragem passiva. Nunca instale uma placa de ancoragem passiva na posição sem a peça especial para apoio da ancoragem ou outro procedimento recomendado e usado pela firma de protensão, já que este procedimento poderá fissurar ou destruir o nariz do macaco, além de ocasionar ferimentos no operário.

A seguir, encoste a peça de fixação da ancoragem passiva instalada no macaco, no lado de apoio ao concreto, da placa de ancoragem. Posicione o macaco sobre a cordoalha e acione-o até a força máxima. Revise os desenhos de montagem para determinar qual a força do macaco que está especificada (ela é normalmente de 147 kN para a cordoalha de 12,70 mm ou 1860 MPa).

É sempre necessário tracionar essas placas de ancoragens com a força máxima do macaco. Falhas no processo podem levar ao escorregamento da cordoalha quando a mesma estiver sendo tracionada na outra extremidade, após o concreto ter adquirido a resistência necessária.

Nota

Durante a colocação das ancoragens passivas no campo, a pressão manométrica subirá rapidamente. Use um registro extra na bomba, se necessário.

6.7 INSPEÇÃO GERAL APÓS A MONTAGEM ANTES DO LANÇAMENTO DO CONCRETO

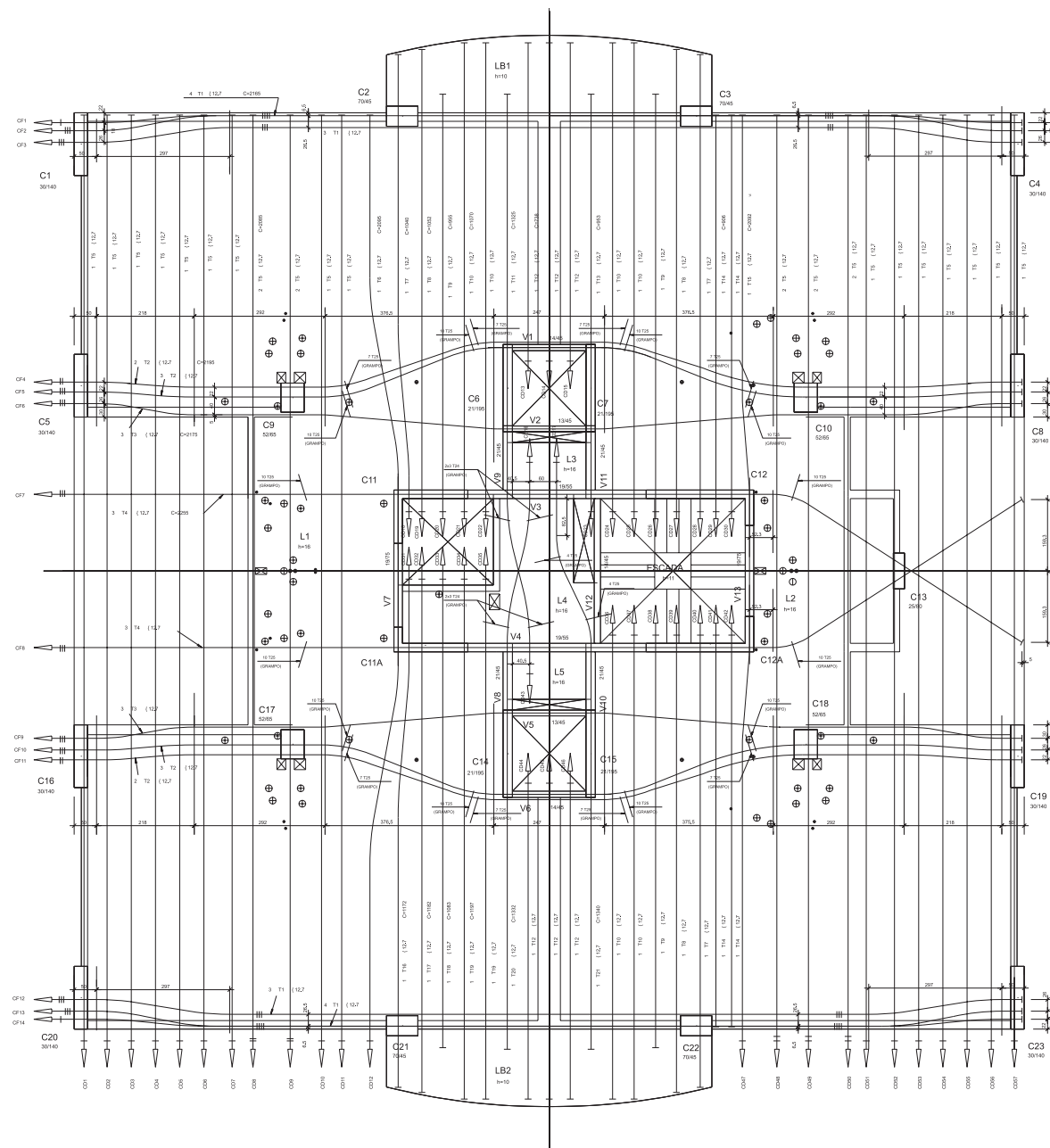
A inspeção do sistema de pós-tração é muito importante. Esta inspeção deve ser efetuada por engenheiro de projeto, por seu representante, por um laboratório habilitado, por montador certificado ou pela construtora. A seguinte lista de conferência deve ser usada pelo inspetor ou pelo laboratório.

1. Estão disponíveis os registros e certificados de ensaios do aço de protensão e outros componentes conforme requerido pelos documentos de contrato?
2. As placas de ancoragem estão aparentemente uniformes e livres de deformações e vazios?
3. As cunhas da ancoragem passivas estão uniformes e adequadamente assentadas na placa de ancoragem?
4. O cobrimento de graxa está uniformemente aplicado e de textura consistente (Confira se há rachaduras ou encaroçamentos na bainha plástica)?
5. A bainha plástica é de espessura suficiente e uniforme?
6. A extremidade ativa, onde a bainha e a graxa são removidas deixando a cordoalha exposta, está livre de corrosão (exceto oxidação superficial)?
7. Foi tirado um comprimento excessivo de bainha na extremidade ativa?
8. As placas de ancoragem da extremidade ativa estão seguramente afastadas da fôrma com apropriada fôrma para nicho? As pontas das fôrmas para nicho têm uma pequena quantidade de graxa aplicada nela antes de ser encaixada na cavidade da placa de ancoragem?
9. O aço de fretagem está colocado na região onde se encontram as placas de ancoragem conforme requerido nos desenhos de montagem?
10. As cadeiras ou sistemas de apoio estão de acordo com os desenhos de montagem?
11. A colocação do aço convencional foi revisada?
12. A bainha está danificada? Se estiver, já foi reparada (todos os rasgos na bainha da cordoalha aplicada em ambientes agressivos devem ser reparados com no mínimo duas camadas de fita à prova de umidade)?
13. Os cabos nos pontos altos e baixos estão nas cotas corretas (veja seção 6.3 item 6 sobre tolerâncias de colocação)?
14. O perfil dos cabos está suave e corretamente posicionado (parabólico, circular ou retilíneo sem curvas reversas localizadas) entre os pontos de referência?
15. Os cabos estão com oscilações horizontais excessivas?
16. Os cabos estão retos verticalmente e horizontalmente atrás das placas de ancoragem de acordo com a distância especificada?
17. O número de cabos (incluindo cabos adicionais) está de acordo com os desenhos de montagem?
18. Os cabos estão todos montados?
19. Há obstruções ao livre movimento do macaco nos cantos e próximo a estruturas adjacentes?
20. O método de lançamento do concreto foi revisto no que tange ao seu efeito sobre a estabilidade do cabo durante a concretagem?

6.8 EXEMPLOS DE DETALHES TÍPICOS DE MONTAGEM

1. Layout dos cabos
2. Exemplos de detalhes típicos de montagem

6.8.1 LAYOUT DOS CABOS (Exemplo)



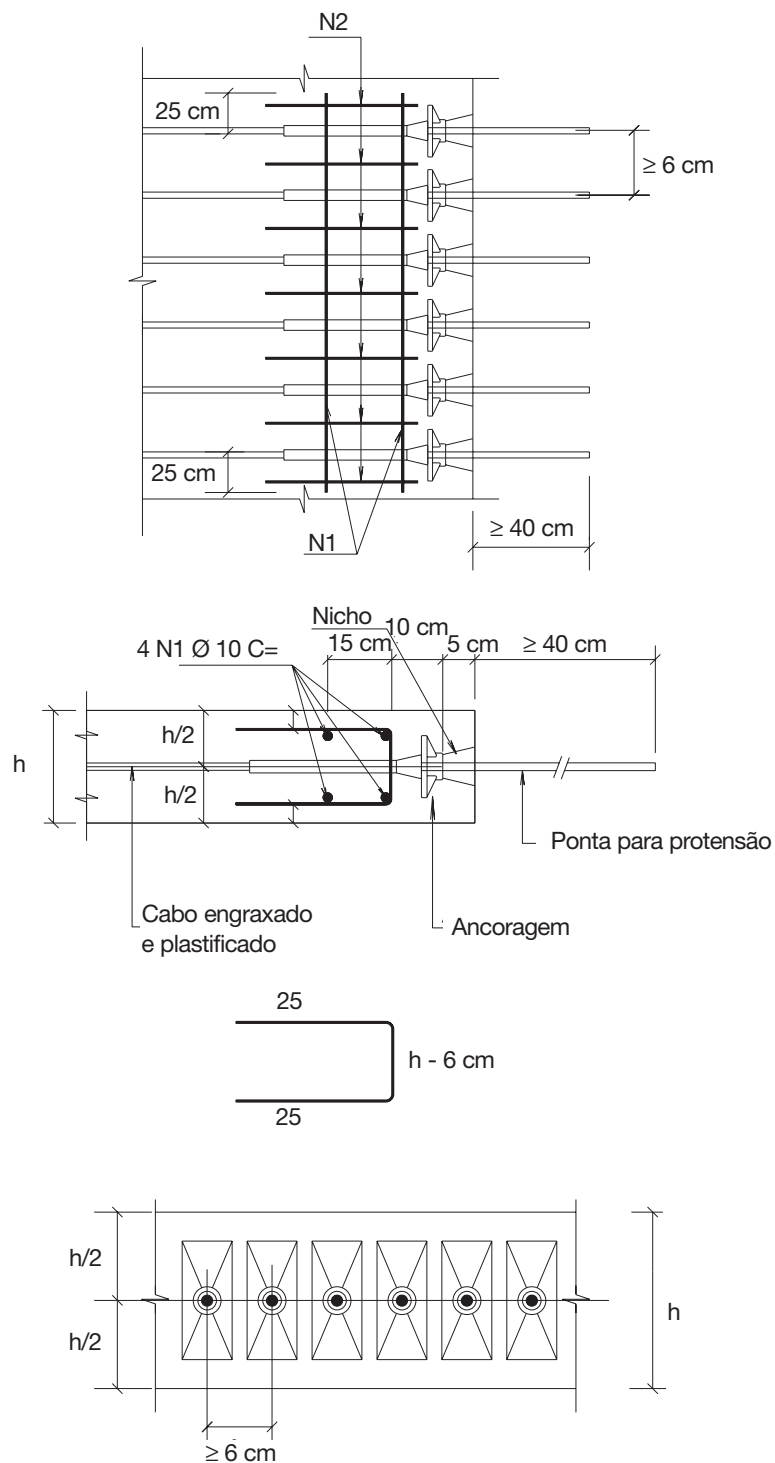
Distribuição dos cabos em planta

6.8.2 EXEMPLOS DE DETALHES TÍPICOS DE MONTAGEM

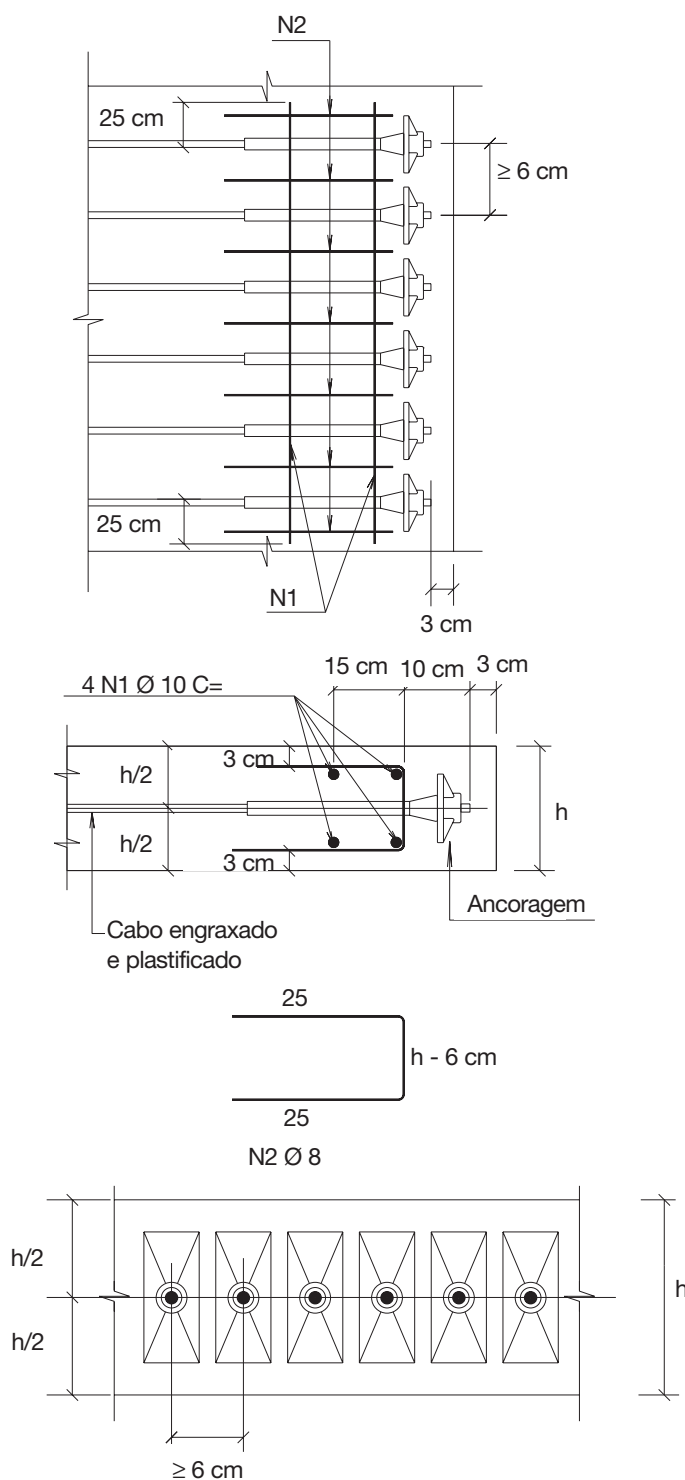
Detalhes das ancoragens ativas

Cabos concentrados (com fretagem)

sem escala

**Desenho modelo nº1**

Detalhes das ancoragens passivas
Cabos concentrados (com fretagem)
sem escala

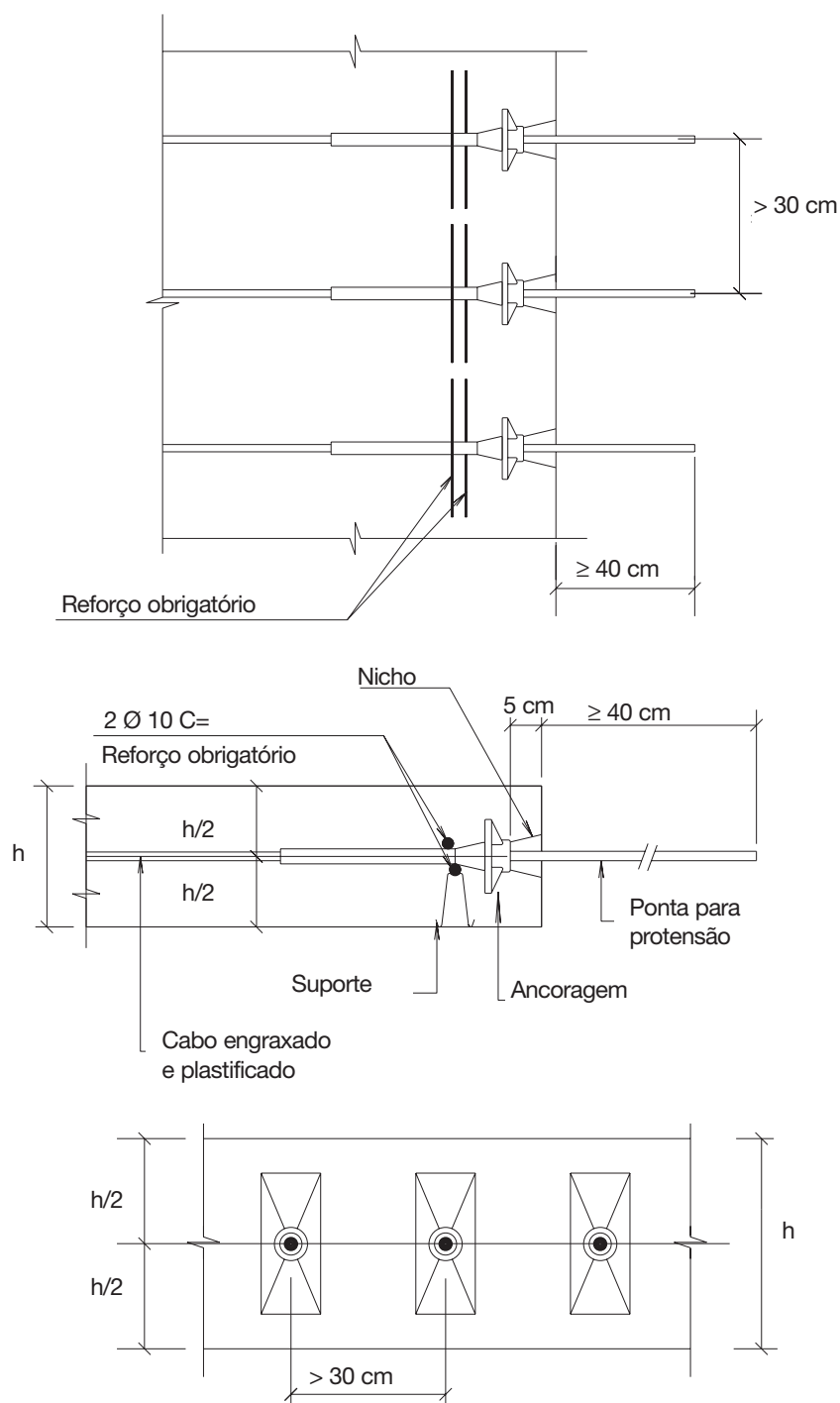


Desenho modelo Nº 2

Detalhes das ancoragens ativas

Cabos isolados (sem fretagem)

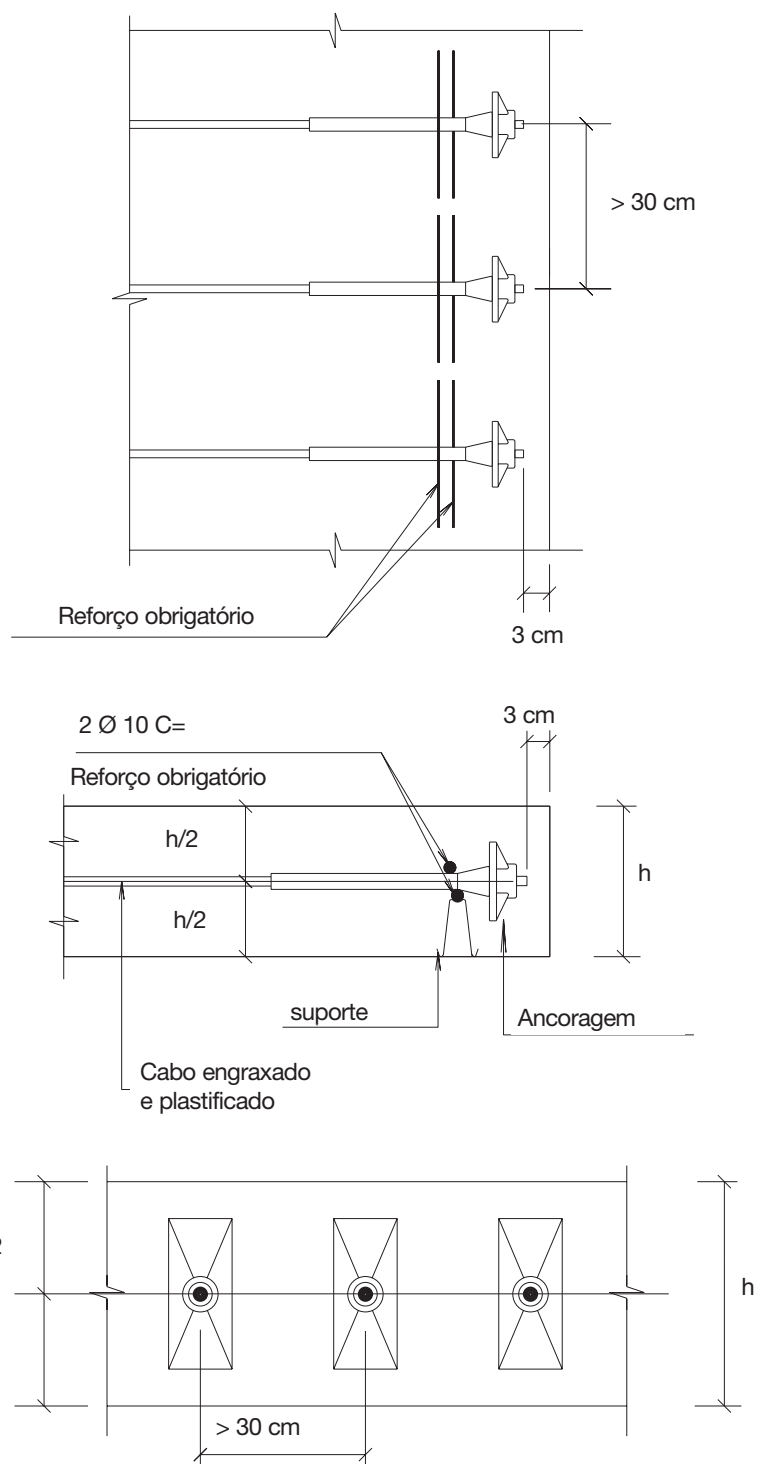
sem escala

**Desenho modelo Nº 3**

Detalhes das ancoragens passivas

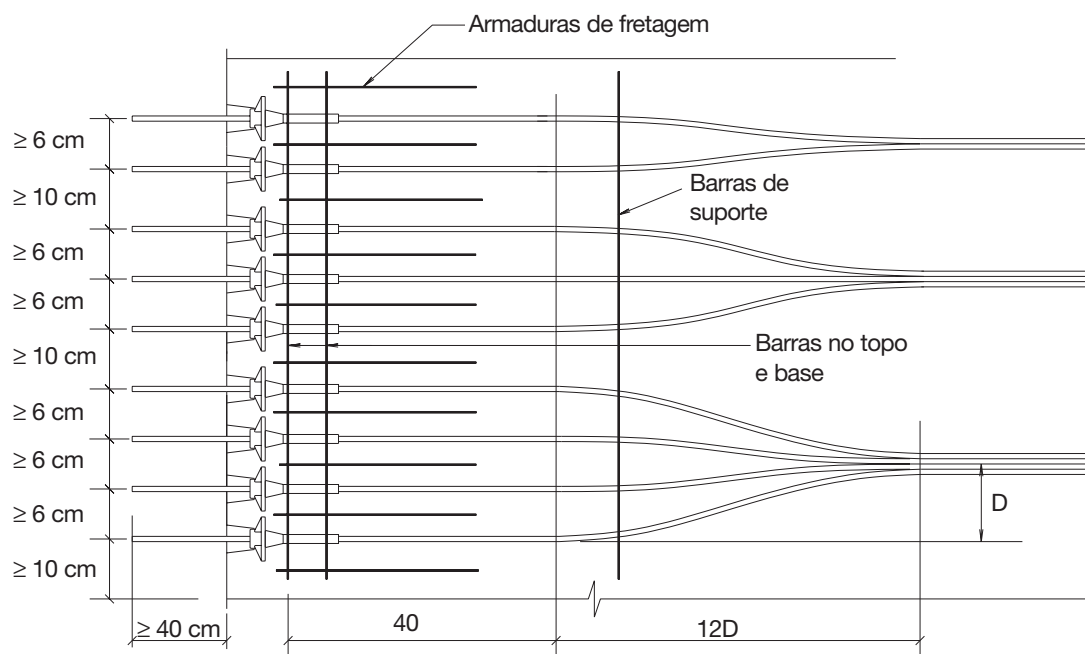
Cabos isolados (sem fretagem)

sem escala



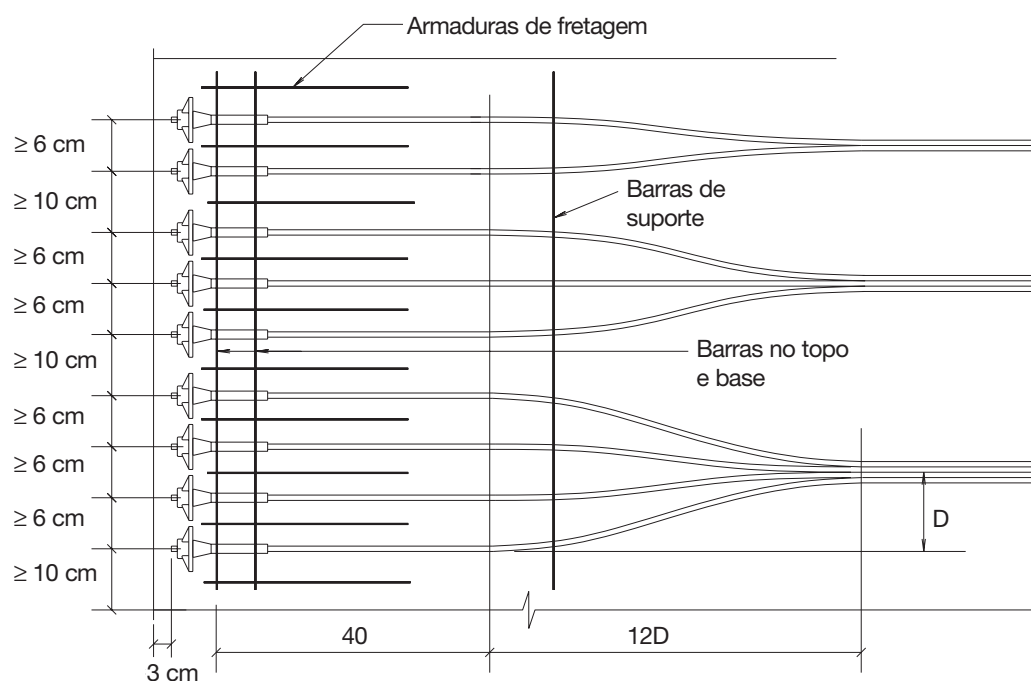
Desenho modelo Nº 4

Detalhe genérico de desvio dos cabos nas ancoragens ativas
sem escala



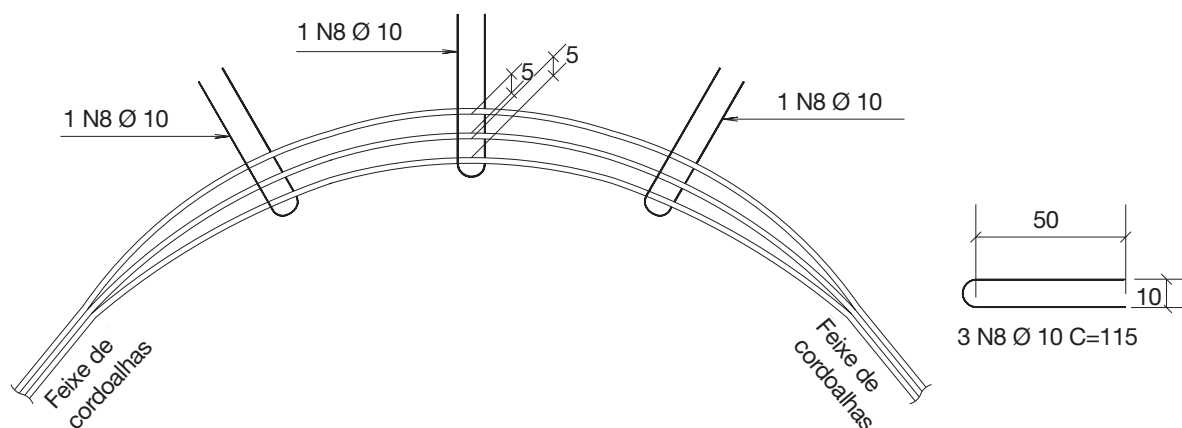
Desenho modelo Nº 5

Detalhe genérico de desvio dos cabos nas ancoragens passivas
sem escala



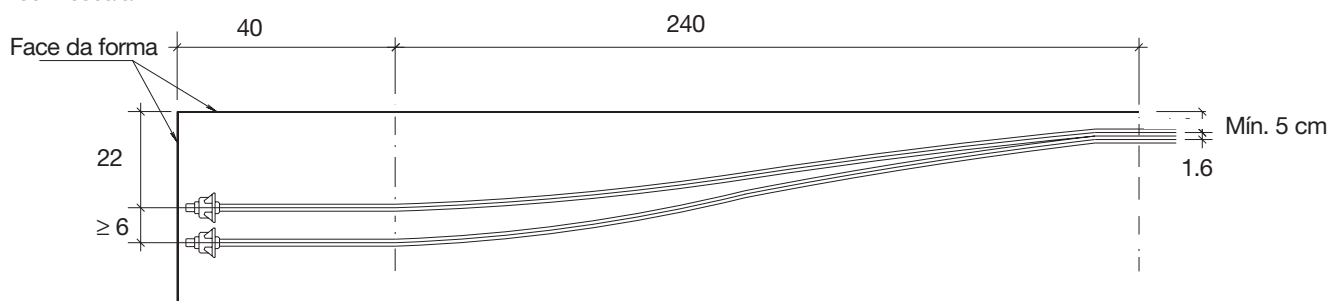
Desenho modelo Nº 6

Posicionamento das cordoalhas
em curvas horizontais
sem escala



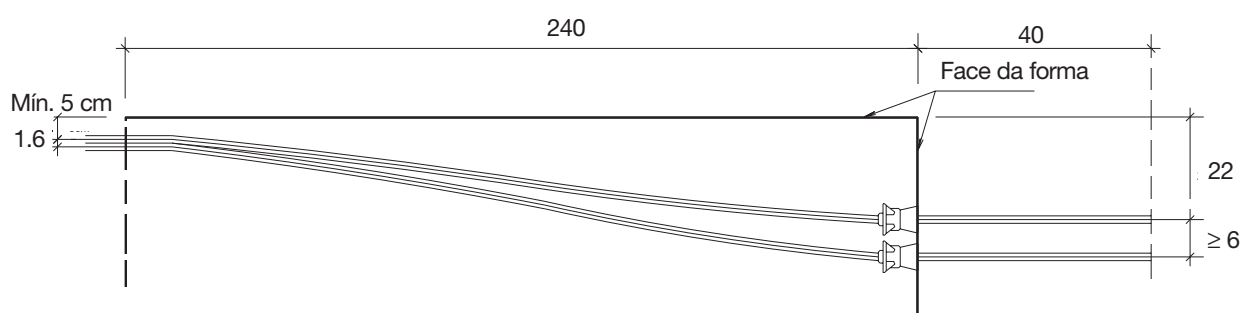
Desenho modelo Nº 7

Dupla passiva desviada na borda de laje
sem escala



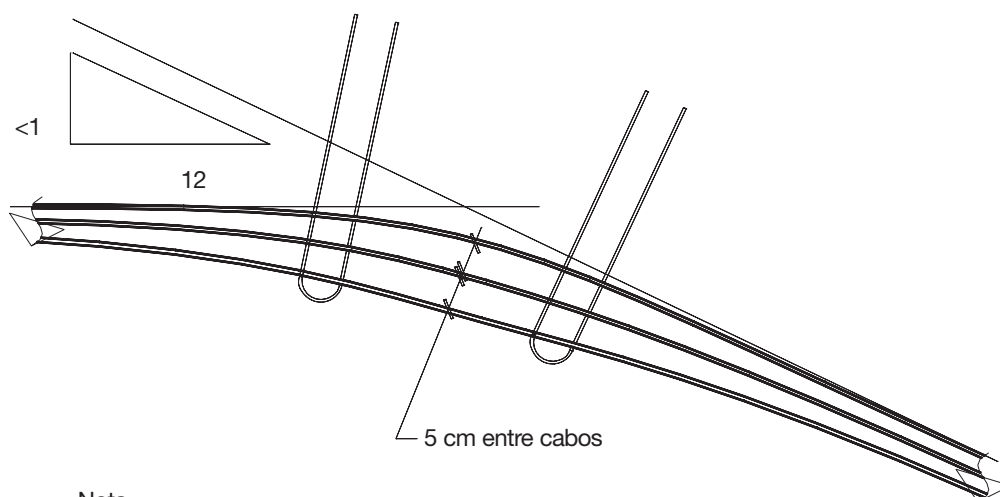
Desenho modelo Nº 8

Dupla ativa desviada na borda de laje
sem escala



Desenho modelo Nº 9

Posicionamento dos cabos em curvas maiores que 1:12

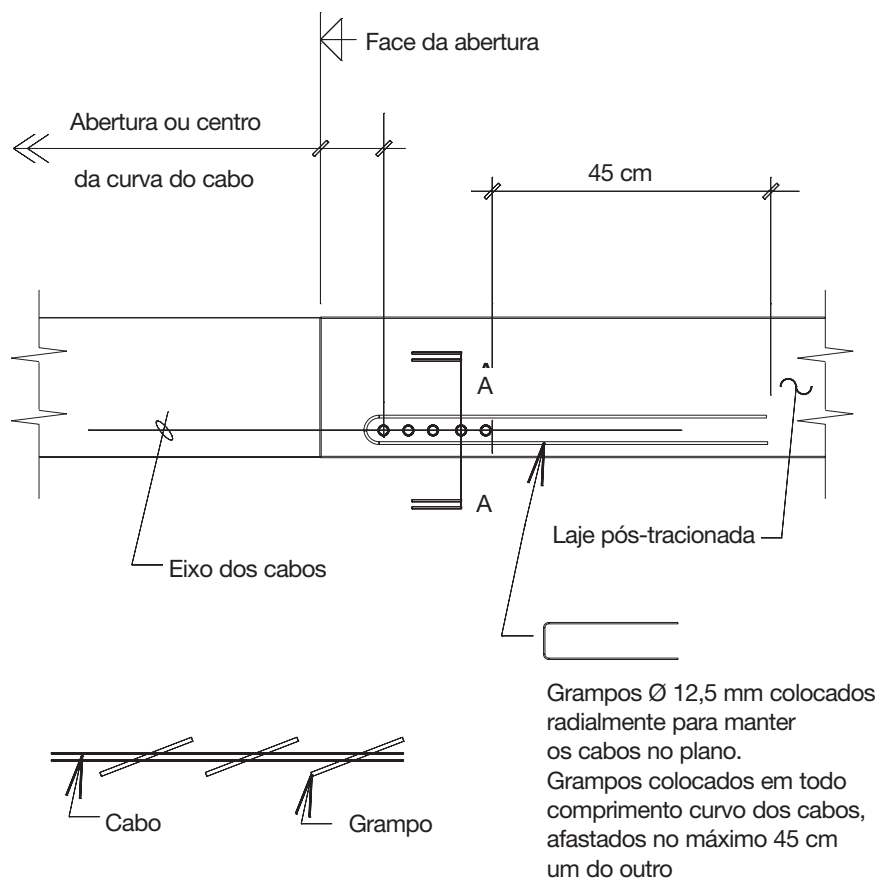


Nota

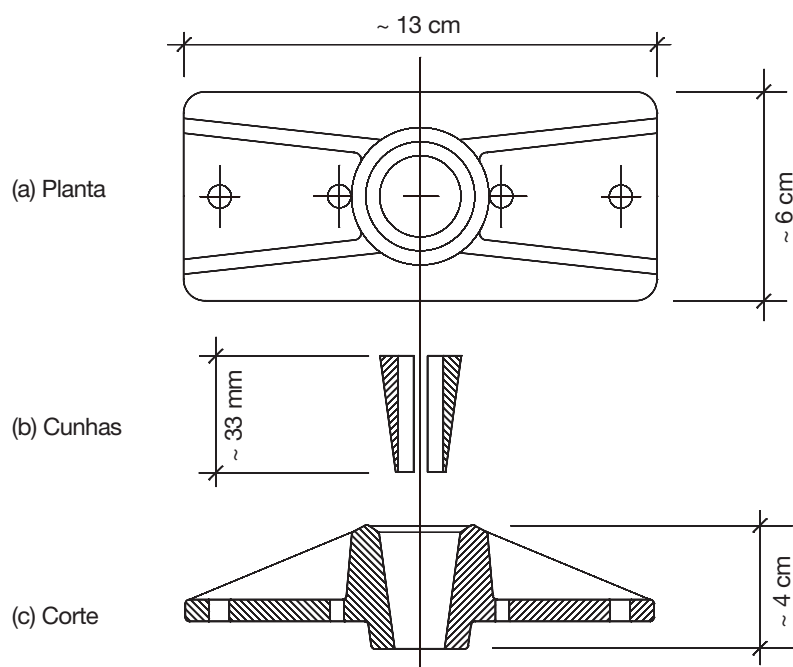
- 1- Manter cabos afastados 5 cm uns dos outros
- 2- Colocar grampos

Desenho modelo Nº 10

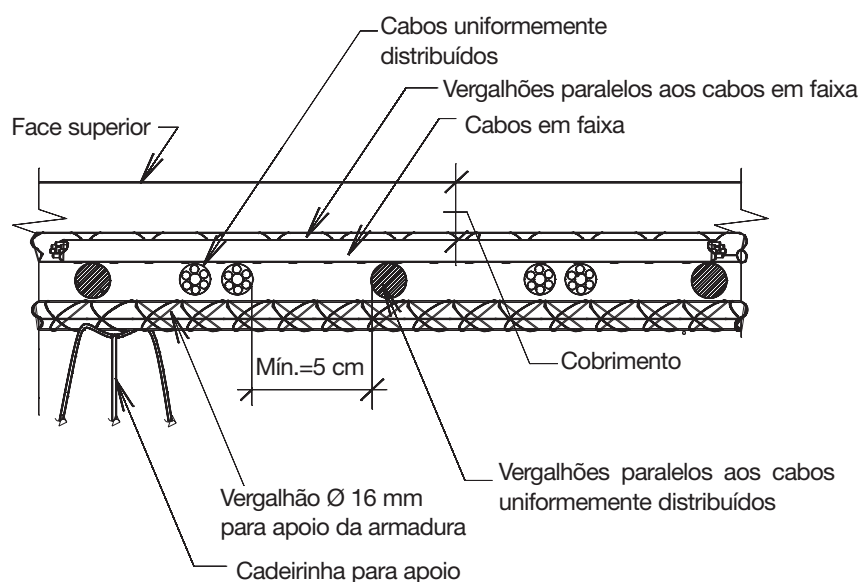
Corte: grampos típicos em curvas de cabos

**Desenho modelo Nº 11**

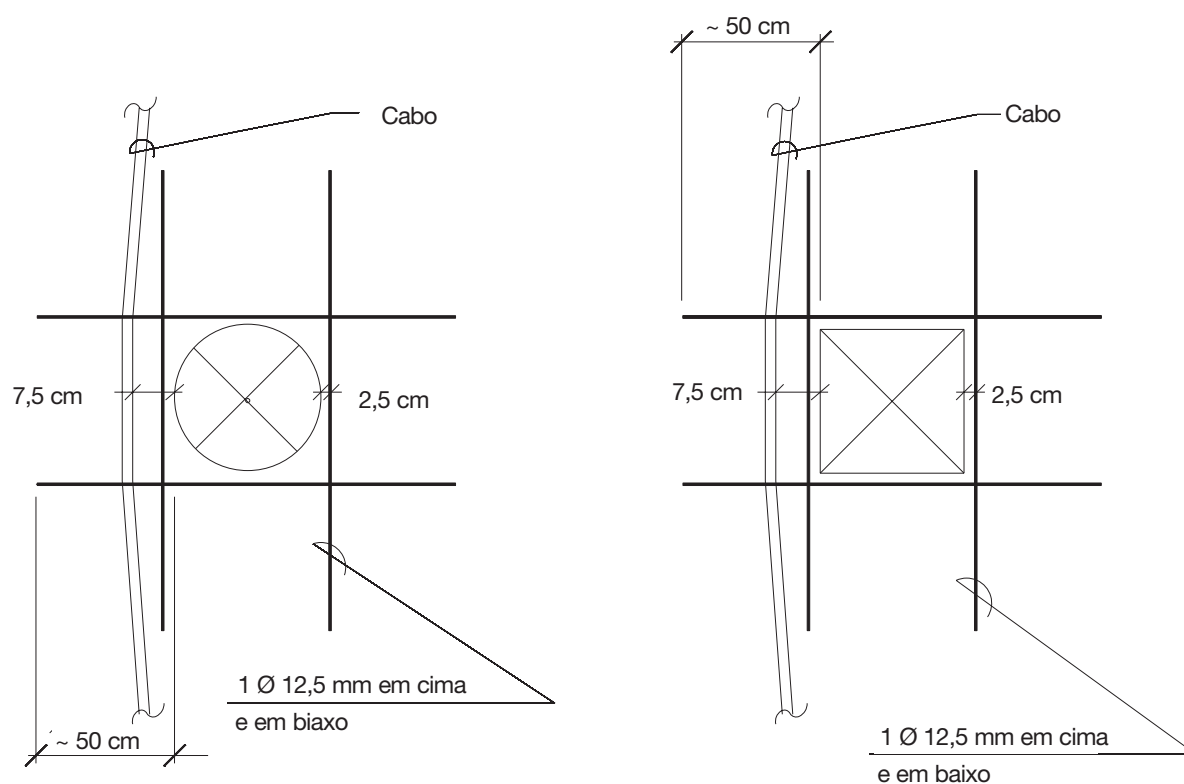
Ancoragem monocordoalha genérica

**Desenho modelo N° 12**

Corte dos cabos uniformemente distribuídos na região dos pilares

**Desenho modelo N° 13**

Reforços em aberturas de lajes



Reforço ao lado de aberturas na laje que meçam entre 6 e 25 cm
Aberturas unitárias de menores dimensões não necessitam barras de reforço

Desenho modelo Nº 14

6.9 NOTAS GERAIS

Sugestões ao projetista

Junto com os desenhos de execução (lançamento de cabos, detalhes, etc.) é aconselhável que sejam remetidas à obra instruções como as seguintes, de forma que todos os envolvidos na execução tomem ciência dos cuidados e advertências nelas descritos.

6.9.1. MATERIAIS

- 1.1 Aço de protensão: o aço de protensão usado nos cabos de pós-tração monocordalhas não aderentes deve estar limpo e livre de corrosão (leve oxidação superficial - retirável com estopa - é admissível). O aço deverá estar de acordo com a norma brasileira NBR-7483 do tipo baixa relaxação com o limite de resistência à tração (por exemplo) de 18.730 kgf.

Diâmetro nominal	12,70 mm
Área da seção transversal	101,40 mm ²
Módulo de elasticidade	203 kN/mm ²
Limite de resistência à tração	18.730 kgf
Força máxima de protensão	15.000 kgf
Força na ancoragem	13.100 kgf
Força efetiva final	----- kgf

- 1.2 Ancoragem: todas as ancoragens dos cabos e luvas de emendas devem atender aos requisitos mínimos do ACI 318 – última emissão dos requisitos do código de obras de concreto armado e das especificações para cabo monocordalha não aderentes do P.T.I. ou da ABNT.
 - a. Ancoragens de protensão: as ancoragens ativas de protensão com fôrmas para nicho plásticas reutilizáveis deverão ser usadas em todos os locais das extremidades ativas.
 - b. Ancoragens intermediárias: fôrmas plásticas para nicho duas peças devem ser usadas onde o cabo de protensão é especificado na junta intermediária de construção.
 - c. Ancoragens passivas constantes do projeto de ancoragens do lado passivo deverão ser utilizadas com as cunhas pré-cravadas.
- 1.3 Cordoalhas plastificadas são protegidas com graxa protetora contra corrosão e revestidas por uma bainha plástica de polietileno extrudado. Rasgos ou falhas parciais da bainha deverão ser reparados antes do lançamento do concreto, desde que menores que 100 mm de comprimento, a não ser que uma proteção especial seja necessária.
- 1.4 As cadeirinhas de apoio dos cabos deverão ser supridas em quantidade suficiente para proporcionar um apoio adequado. As cadeirinhas de apoio fornecidas não devem ser usadas ao mesmo tempo para apoiar aço de reforço e/ou conduites, etc.

6.9.2 FABRICAÇÃO DOS CABOS

- 2.1 Após o recebimento dos desenhos aprovados, a lista de corte dos cabos deverá ser emitida para fabricação. As entregas devem ser solicitadas com um prazo mínimo de 14 dias, quando a fabricação dos cabos for feita em outro local que não a própria obra.
- 2.2 Os cabos deverão ser fabricados com comprimento maior que a fôrma de borda para permitir a protensão. Uma ponta de no mínimo 300 mm é requerida em cada ponto de protensão.
- 2.3 Para facilitar a identificação, os cabos são marcados com diferentes combinações de cores, conforme mostrado nos desenhos de disposição dos cabos. Por outro lado, os cabos também devem ser embalados em conjunto e etiquetados de acordo com a peça ou laje a ser concretada.

6.9.3 ENTREGA DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS, MANUSEIO E ARMAZENAGEM

- 3.1 Os cabos deverão ser fabricados e entregues em quantidades que completem a carga do caminhão. Divergências em relação a este procedimento deverão ser uma opção da empresa que cortou os cabos.
- 3.2 A lista de corte de fabricação deverá sempre acompanhar as remessas de material de pós-tração. O romaneio deve indicar as quantidades de cabos, comprimentos, número total de ancoragens ativas e ancoragens intermediárias, cunhas e fôrmas para nicho. O comprador deve ser responsável por inspecionar o material entregue e notificar imediatamente a empresa de protensão sobre qualquer discrepância.
- 3.3 Uma vez entregue, é responsabilidade da construtora proteger e supervisionar os materiais e equipamentos para que mantenham sua integridade até o momento de utilização.
- 3.4 Na chegada do material a construtora deve descarregar e armazenar adequadamente os cabos. Somente correias de nylon devem ser usadas para descarregar, de modo a evitar danos na bainha plástica. As correias de nylon nunca devem estrangular no manuseio dos rolos de cabo de aço de protensão. Envolver os rolos com a correia passando-a pelo centro dos mesmos. Enganche cada alça da correia no equipamento de içamento. Não use correntes ou ganchos para descarregar os cabos, pois pode resultar em dano severo às bainhas e até aos cabos.
- 3.5 Os cabos, acessórios e cadeirinhas de apoio dos cabos devem ser armazenados em área seca e segura contra danos. As cunhas, ancoragens e cadeirinhas de apoio devem ser armazenadas em área seca e limpa e identificadas individualmente por seqüência de concretagem e/ou pavimentos. Estes itens devem ser usados somente em suas concretagens programadas.

Nota

Caso as peças programadas para uma concretagem sejam trocadas por peças de outra concretagem, é responsabilidade do comprador notificar a mudança com o propósito de rastreamento e garantia de estoque adequado.

- 3.6 Após a recepção do equipamento, verifique se o macaco e o manômetro da bomba não foram separados. Macaco e manômetro são calibrados conjuntamente. Confira os registros de calibração (os macacos devem ser calibrados antes de serem remetidos para a obra). Caso haja qualquer discrepância (incluindo a validade da tabela de calibração), contate imediatamente a empresa de protensão para solução.
- 3.7 Guarde o equipamento de protensão em local limpo e seco e permita que o acesso aos equipamentos seja feito somente por profissionais treinados e qualificados. Siga o "manual de procedimentos de operação de equipamentos de protensão da empresa de protensão", que fornece regras e instruções relativas ao cuidado, ao uso e à manutenção do equipamento de protensão.

6.9.4 MONTAGEM DOS CABOS

- 4.1 Centralize cada cabo ou faixa de cabos na fôrma de borda de acordo com os espaçamentos mostrados na planta de locação dos cabos.
- 4.2 Marque na fôrma de borda o local de cada ancoragem ativa, espaçando-as de acordo com o detalhamento das ancoragens mostrado nesses desenhos. Se algum conflito ocorrer e as placas de ancoragem não puderem ser colocadas como nos desenhos, consulte o engenheiro de projetos e a firma de protensão.
- 4.3 Perfure orifícios na fôrma de borda onde as ancoragens ativas forem requeridas. Um separador ou anteparo deve ser usado na região das ancoragens intermediárias para facilitar a montagem dos cabos.
- 4.4 Engraxe a ponta cônica estreita das fôrmas plásticas para nicho e encaixe-as dentro das placas de ancoragem de 12,70 mm. Insira cada conjunto no orifício perfurado de 19 mm (ou 25 mm para ancoragens de cordoalhas de 15,20 mm) e pregue o conjunto perpendicularmente à forma de borda com pregos, conforme mostrado nos desenhos.
Rejeite qualquer fôrma para nicho que permita a entrada de pasta de cimento na cavidade da placa de ancoragem.
- 4.5 Em lajes, coloque toda a armadura de reforço inferior e amarre no lugar as barras auxiliares inferiores ao longo da fôrma da laje, conforme requerido nos desenhos.
- 4.6 Em vigas, coloque toda a armadura de reforço inferior, estribos e barras de apoio (conforme mostrado nos desenhos). O sistema de apoio para a armação da viga deve ser montado previamente e colocado dentro da fôrma.
- 4.7 Selecione os cabos para cada local conforme marcação efetuada pelo projetista nos desenhos. Desenrole os cabos corretamente começando pela extremidade passiva (se aplicável) em direção à extremidade ativa. Cabos adicionais com extremidade passiva devem ser montados como nos desenhos.

- 4.8 A menos que haja uma orientação contrária, a seqüência de montagem dos cabos deve observar os seguintes procedimentos:
- Lajes planas com cabos uniformemente distribuídos em ambas as direções
 - 1) Coloque os cabos seguindo os números de seqüência mostrados nos desenhos de distribuição dos cabos
 - Lajes planas com cabos em faixa e uniformemente distribuídos
 - 1) Coloque os grupos de cabos uniformes (uniformemente distribuídos) sobre ou dentro de 90 cm dos eixos dos pilares. Use no mínimo dois cabos sobre cada pilar
 - 2) Coloque todos cabos de faixa. Use no mínimo dois cabos sobre cada pilar
 - 3) Coloque o resto dos cabos uniformes
 - Vigas e lajes
 - 1) Coloque todos os cabos das vigas
 - 2) Coloque todos os cabos para combate à retração da laje que tenham centro de gravidade mais baixo que os cabos de distribuição uniformes da laje (se houver)
 - 3) Coloque todos os cabos de distribuição uniformes da laje
 - 4) Coloque o resto dos cabos para combate à retração da laje, dispondo-os sobre os cabos de distribuição uniformes (se houver)
 - Vigas e nervuras
 - 1) Coloque os cabos das nervuras sobre as linhas de pilares (se houver)
 - 2) Coloque todos os cabos da viga
 - 3) Coloque o resto dos cabos das nervuras
- 4.9 Remova a bainha da extremidade ativa para permitir que a cordoalha seja colocada através da ancoragem. Somente o comprimento suficiente de bainha deve ser removido, porém, não exponha mais de 25 mm de cordoalha atrás da placa de ancoragem. Note que toda a bainha deve ser removida da área de fixação das cunhas na placa de ancoragem e nas regiões onde existam ancoragens intermediárias.
- 4.10 Coloque a cordoalha através do conjunto de ancoragem. Permita que um mínimo de 30 cm de cordoalha transpasse a fôrma de borda para que se possa fazer a protensão. Quando os cabos forem protendidos por ambas as extremidades, esteja certo de que há uma ponta mínima de 30 cm em ambas as extremidades do cabo.
- 4.11 A cordoalha não deve ficar exposta atrás da ancoragem na extremidade passiva (pois pode resultar em problemas de alongamento durante a protensão). Para evitar que isso aconteça, coloque fita ou proteção plástica sobre ela e pressione-a contra a placa de ancoragem.
- 4.12 Junte os cabos em feixes para formar grupos de cabos conforme desenhos. Os cabos devem ser suavemente desligados das placas de ancoragem (ver figura 6-5, página 41).

- 4.13 Inicie pelos locais onde estão situadas as ancoragens passivas (quando existirem). Amarre os feixes de cabos nas barras de apoio e se necessário corrija as alturas das cadeiras nas intersecções. Cuidado ao amarrar os cabos para não apertar com o arame em demasia e cortar a bainha plástica.
- 4.14 Em lajes, coloque todos os vergalhões auxiliares superiores conforme requerido. Note que todas as ancoragens devem ter vergalhões de fretagem superiores e inferiores.
- 4.15 A menos que os desenhos detalhem o contrário, as zonas de ancoragem de cabos de faixa para feixes de 6 ou mais cordoalhas, com espaçamento entre placas de ancoragem de 30 cm ou menos, devem ser reforçadas conforme mostrado neste manual (ver figura 6-3, página 40).
- 4.16 Em vigas, coloque armadura auxiliar e de fretagem de ancoragem para vigas, como nos desenhos de montagem. As ancoragens para vigas podem conflitar com os vergalhões dos pilares e com as gaiolas de armação das vigas. Consulte o engenheiro projetista e a firma de protensão antes de modificar as posições das ancoragens.
- 4.17 Quando os cabos passam ao redor de aberturas ou obstruções, os desvios horizontais devem começar no mínimo 60 cm além da borda das mesmas. Veja nos desenhos da estrutura/revisões detalhes sobre reforços das aberturas (ver figura 6-6, página 42).
- 4.18 Coloque toda a armadura de reforço conforme indicado nas plantas de armação e plantas estruturais. Os cabos têm preferência em relação às armaduras convencionais e conduites quando ocorrerem interferências com a armadura de pós-tração. Notifique o engenheiro responsável sobre todas as interferências.
- 4.19 Conforme as condições do canteiro de obras, locais de ancoragens passivas e ativas podem ser invertidos quando necessário.
- 4.20 Desvios verticais no posicionamento do cabo podem variar ± 5 mm em elementos de concreto com espessura até 20 cm, ± 10 mm em elementos de concreto com espessura entre 20 cm e 60 cm e ± 13 mm em elementos de concreto com dimensão acima de 60 cm. Evite oscilações excessivas (curvaturas indesejáveis) nos cabos.
- 4.21 Inspeccione a distribuição dos cabos e repare toda bainha danificada conforme requerido pelas especificações. Rasgos ocasionais na bainha de até 10 cm de comprimento são aceitáveis para aplicações onde cuidados especiais contra corrosão não sejam necessários.

6.9.5 LANÇAMENTO DO CONCRETO

- 5.1 Cloreto de cálcio ou outros materiais que contenham cloreto não devem ser utilizados como mistura em concreto protendido ou enchimento para nichos.
- 5.2 Durante o lançamento do concreto, os cabos e vergalhões devem ser mantidos em suas respectivas posições. Se os cabos moverem-se para fora da posição designada, eles devem ser ajustados para a posição correta antes do início dos procedimentos de lançamento.

- 5.3 É recomendada a vibração adequada do concreto nas imediações da região de ancoragem dos cabos. Cuidado para não super/subvibrar o concreto na zona de ancoragem dos cabos.
- 5.4 Cuidado para não deslocar os cabos ao espalhar o concreto. Quando o concreto estiver sendo bombeado, os dutos devem ser apoiados acima dos cabos e não descansar sobre eles. Não coloque o vibrador sobre os cabos.

6.9.6 PROTENSÃO DO CABO

- 6.1 As operações de protensão devem estar sob o controle de um profissional experiente em tais operações.
- 6.2 As operações de protensão não devem ser iniciadas até que os testes dos corpos de prova curados nas condições do canteiro de obras tenham atingido a resistência mínima à compressão de 210 kgf/cm².
- 6.3 Conecte a bomba hidráulica em 110 V AC, 60 ciclos, 30 ampères. Os cabos de extensão devem ter 3 fios 6 mm² com o comprimento máximo de 30 m. Cabos elétricos com comprimentos superiores a 30 m podem danificar a bomba e implicar em resultados irregulares de alongamento.
- 6.4 Verifique o macaco de protensão antes de usá-lo e siga todas as instruções fornecidas pela firma de protensão. Verifique se as mandíbulas do macaco estão limpas e pulverize com um lubrificante de grafite somente a superfície de deslizamento.
- 6.5 Os anteparos ou as fôrmas de borda da laje devem ser removidos tão logo quanto possível. Isso permitirá a fácil remoção da fôrma plástica do nicho e a limpeza da cavidade da placa de ancoragem enquanto o concreto ainda está verde. Remova as fôrmas para nicho procurando salvá-las para as próximas concretagens.
- 6.6 Inspeccione as cavidades das placas de ancoragem para verificar se estão limpas. Remova todo o graute ou pasta antes da protensão.
- 6.7 Insira o par de cunhas lado a lado dentro da placa de ancoragem ativa. As cunhas devem ser espaçadas igualmente e inseridas uniformemente dentro da cavidade da placa de ancoragem.
- 6.8 Revise o gráfico de calibração do macaco para determinar a pressão requerida no mesmo.
- 6.9 Uma área apropriada deve ser liberada ou um andaime seguro erguido para os trabalhadores que vão executar a protensão. Os inspetores devem estar no canteiro de obras. A medição dos alongamentos e a protensão são feitas simultaneamente.
- 6.10 Falta de cuidado no uso do equipamento de protensão pode resultar em danos à obra e/ou ferimentos pessoais. Somente pessoal treinado e qualificado deve ter permissão para ficar próximo ao equipamento de protensão durante o seu uso. O pessoal que estiver fazendo a protensão e os inspetores devem permanecer longe do cabo que estiver sendo protendido durante todo o tempo. Nunca permita que alguém fique próximo ao macaco ou entre o macaco e a bomba enquanto estiver protendendo.

- 6.11 Limpe o excesso de graxa da cordoalha usando um gabarito. Marque a cordoalha com pintura spray ou outro sistema de marcação permanente. Se os cabos forem duplamente ativos marque ambas as extremidades antes da protensão. Não é necessária protensão simultânea de ambas.
- 6.12 Verifique se o pistão de cravação do macaco está completamente retraído. Posicione o macaco de protensão sobre a cordoalha assegurando-se de que o nariz do mesmo está apoiado sobre o centro da placa de ancoragem. Encaixe a mandíbula do macaco uniformemente sobre a cordoalha, caso contrário, as mandíbulas podem ser danificadas ou romper a cordoalha.
- 6.13 Protenda com a pressão requerida conforme gráfico de calibração fornecido pela empresa de protensão. Crave as cunhas e retraia o macaco de protensão. Remova o macaco da cordoalha, meça e registre o alongamento com uma tolerância de +/- 3 mm.
- 6.14 Alongamentos sob tensão devem ser calculados pela seguinte fórmula:

$$\Delta \ell = \frac{\text{Força (em kgf)} \times \text{Comprimento (em mm)}}{\text{Área do aço (em mm)} \times E \text{ (em kgf/mm}^2\text{)}}$$

Onde E = módulo de elasticidade do aço.

Nota Importante

Após o cálculo do alongamento, diminua desse valor 7 mm para cada ancoragem ativa, o que corresponde ao recuo da cunha ao final da protensão. Esse deverá ser o alongamento teórico fornecido pelo projetista.

- 6.15 Se o alongamento calculado for maior do que o curso do macaco, puxadas adicionais deverão ser efetuadas. Cuidado para não prender o macaco na primeira puxada. Quando estiver usando um macaco com curso de 200 mm, tente deixar 150 mm para a puxada final.
- 6.16 Em protensões pelas duas extremidades, registre o alongamento de cada extremidade e some-as para obtenção do alongamento total. Faça um registro do manômetro e do alongamento obtido para cada cabo.
- 6.17 Procedimento de registro dos alongamentos: usando um gabarito que estabeleça uma dimensão constante em relação à face do concreto, pinte a cordoalha com tinta spray de secagem rápida (não use lápis de cera) para estabelecer um ponto de referência nas medições de alongamento. Não pinte por cima de outra pintura para não comprometer a marcação. Protenda cada cabo adotando o procedimento de protensão adequado. Normalmente, a protensão é introduzida levando-se a pressão de zero à pressão final total, não sendo necessário parar a protensão em pressões intermediárias de alongamento. Depois de remover o macaco da ponta da cordoalha, coloque o gabarito contra a superfície do concreto, meça a distância entre o gabarito e a marca de referência com precisão de 3,00 mm e registre no modelo de registros de protensão fornecido pela empresa de protensão.

6.18 Submeta os registros de alongamentos, pressões e desvios percentuais computados à construtora ou designado (para aprovação).

6.19 Depois que a aprovação do engenheiro foi obtida, as pontas do lado ativo devem ser cortadas. Cuidado para que a chama do maçarico não atinja as cunhas. A cordoalha deve ser cortada deixando-se uma pequena ponta de 13 a 20 mm fora da cunha e permitindo que haja um cobrimento de 25 mm em relação à face do concreto.

6.20 Depois que as pontas de cordoalhas do lado ativo foram cortadas, a parte exposta da placa de ancoragem deve ser coberta com um material preventivo contra corrosão. Os nichos de protensão devem ser preenchidos com aplicação de graute que não sofra retração e que não contenha metálicos. A mistura de graute não deve conter cloretos, sulfatos ou nitratos.



6.21 Os nichos de protensão das ancoragens intermediárias devem ser preenchidos com graute.

6.22 A sequência de protensão deve ser a seguinte:

- Lajes planas com cabos uniformemente distribuídos em ambas as direções
 - Protenda 50% dos cabos uniformes em uma direção
 - Protenda 100% dos cabos uniformes na direção oposta
 - Protenda os 50% finais dos cabos uniformes na direção oposta
- Lajes planas com cabos em faixa e uniformemente distribuídos
 - Protenda todos os cabos uniformes
 - Protenda todos os cabos em faixa
- Vigas e lajes
 - Protenda todos os cabos uniformes da laje
 - Protenda todos os cabos da viga
 - Protenda todos os cabos de combate à retração (se houver)
- Vigas e nervuras
 - Protenda todos os cabos das nervuras (se houver)
 - Protenda todos os cabos das vigas
 - Protenda todos os cabos uniformes da laje e de combate à retração (se houver)

6.9.7 PRECAUÇÕES

7.1 Remova todas as obstruções que impeçam a acomodação adequada da fôrma para nicho na fôrma de borda da laje.

7.2 A interposição de vergalhões não pode impedir que as placas de ancoragem sejam pregadas corretamente na fôrma. De maneira alguma a posição da placa de ancoragem deve ser alterada verticalmente para cima ou para baixo, a não ser que autorizada pelo engenheiro responsável. Desvios horizontais das placas de ancoragem podem ser aceitos desde que seja mantido o cobrimento adequado de concreto e o engenheiro seja notificado da mudança.

- 7.3 Os cabos devem sempre ser colocados perpendicularmente às placas de ancoragem, caso contrário poderá resultar em alongamento baixo, rompimento dos fios da cordoalha, rompimento do cabo ou assentamento impróprio das cunhas.
- 7.4 O cabo não deve ser protendido se houver graute na cavidade da placa de ancoragem. O graute na cavidade de alojamento da cunha pode impedir seu assentamento adequado ou provocar um rompimento repentino do cabo.
- 7.5 Remova as obstruções que estejam na área de protensão antes de iniciá-la.
- 7.6 Precauções especiais de segurança devem ser tomadas durante o uso do equipamento de protensão:
 - Posicione-se ao lado do equipamento
 - Não permita que alguém permaneça à frente ou atrás do macaco hidráulico
- 7.7 Insertos para sustentação de instalações elétricas, hidráulicas e arquitetônicas devem ser colocados nas fôrmas antes do lançamento do concreto. Não permita chumbadores colocados por furadeiras, a menos que precauções especiais sejam tomadas para assegurar que os cabos não serão danificados.
- 7.8 Cuidado para que faíscas de solda e corrente elétrica perdida não entrem em contato com os cabos e as placas de ancoragem, nem que chamas de maçarico entrem em contato com as cunhas.
- 7.9 Verifique os desenhos de arquitetura e estrutura para saber a exata localização das fôrmas de borda, aberturas e quaisquer condições especiais.
- 7.10 A bomba e o macaco devem ser amarrados a um objeto sólido quando estiverem trabalhando em um piso elevado.
- 7.11 Se o concreto estiver com bicheiras ou fissuras visíveis, não protenda até que esteja adequadamente reparado e inspecionado.

6.9.8 GERAL

- 8.1 Estes desenhos contêm informações próprias válidas somente para aplicação neste projeto. Tais desenhos não podem ser reproduzidos - por inteiro ou em parte - para nenhum uso sem a expressa permissão escrita do engenheiro estrutural.

7. LANÇAMENTO DO CONCRETO

7.1 PROCEDIMENTOS GERAIS

Os procedimentos seguintes são recomendados para lançamento do concreto e oferecidos como conhecimento prático a respeito de construção em concreto protendido pós-tracionado.

1. O concreto deve ser lançado em conformidade com os Documentos de Contrato do Projeto.
2. Cloreto de cálcio ou outros materiais contendo cloreto não devem ser usados na mistura de concretos pós-tracionados.
3. Nenhum concreto deve ser lançado até que os cabos e vergalhões tenham sido inspecionados e aprovados.
4. O concreto deve ser lançado de maneira a assegurar que a posição dos cabos de pós-tração e os reforços convencionais permaneçam inalterados. Se os cabos saírem fora da posição designada eles devem ser ajustados para sua posição correta antes de se prosseguir com as operações de lançamento.
5. A vibração apropriada do concreto na zona de ancoragem é crítica, para eliminar vazios e bicheiras. Cuidado para não vibrar demais ou de menos o concreto que fica na zona de ancoragem.
6. Cuidados durante o lançamento do concreto:
 - a. Concretagem por caminhão: Verifique se o concreto foi espalhado uniformemente e se depois de distribuído não deslocou os cabos.
 - b. Concretagem por grua ou guindaste: O concreto deve ser solto da caçamba a uma altura que não desloque os cabos.
 - c. Concretagem por bomba: O duto da bomba deve ser apoiado acima dos cabos e não sobre eles. O bico da bomba deve ser sustentado em uma posição que não cause o deslocamento dos cabos.
 - d. Não coloque os vibradores sobre os cabos. Evite o contato entre o vibrador e o cabo durante o adensamento do concreto.

8. ANCORAGENS

8.1 GERAL

A proposta desta seção é familiarizar o pessoal de campo com a teoria geral sobre ancoragens e como elas trabalham. Dessa forma, os envolvidos terão uma consciência maior de como os componentes relacionados trabalham e assim serão capazes de eliminar problemas potenciais no campo.

8.2 ANCORAGEM

Para o sucesso da ancoragem existem 6(seis) áreas trabalhando simultaneamente:

1. Placa de ancoragem
2. Cordoalha
3. Cunhas
4. Armazenamento e condições dos materiais antes e durante o uso
5. Condição e calibração do equipamento de protensão
6. Conhecimento prático do pessoal para entender e seguir os procedimentos corretamente

Os três primeiros itens formam o sistema de funcionamento. Entretanto, os três últimos também são vitais no trabalho da ancoragem. Frequentemente, os problemas experimentados no campo vêm das áreas 4, 5 e 6 acima.

Normalmente o cabo tem muita força acumulada. Qualquer sistema de ancoragem aceitável deve passar por um teste de carga estática correspondente a 95% da carga mínima de ruptura da cordoalha. Na maioria das aplicações de campo, a quantidade de força aplicada na cordoalha é de aproximadamente 75% da carga mínima de ruptura da mesma. É importante entender o poder deste tipo de força, pois um escape da cordoalha resultante de algum tipo de erro do sistema tem energia suficiente para sérios ferimentos.

8.3 CUNHAS

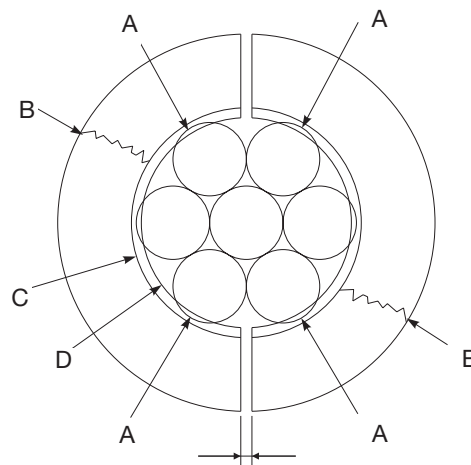
Dentro da operação de protensão, a cunha é projetada para compensar todas as irregularidades existentes entre a cordoalha de sete fios e a superfície tronco-cônica de apoio da placa de ancoragem. Numa vista de topo da cordoalha de sete fios, você pode ver que um movimento considerável deve ocorrer antes do assentamento circunferencial completo. Com o movimento do aço e a cordoalha sendo literalmente prensada até a posição de assentamento final, é importante manter o sistema livre e limpo de fatores externos como ferrugem, sujeira e pasta de concreto. É igualmente importante ter entendimento básico do controle de qualidade e sua relação com as partes componentes e o equipamento de protensão. A principal idéia a ser passada é que todas as partes trabalham juntas (dinamicamente) para formar um conjunto completo de ancoragem. A forma e características materiais da placa de ancoragem, cordoalha e cunha combinam com a força que o equipamento de protensão coloca neles. Estão todos relacionados ao processo completo de ancoragem. A variação de um elemento reflete sobre todas as outras áreas quando o cabo é tracionado.

A concepção de trabalho de uma cordoalha explicada de forma simples é a seguinte:

A cordoalha é mais dura que a placa de ancoragem e as cunhas são mais duras que a cordoalha. A placa de ancoragem é projetada para suportar toda a carga (mais fator de segurança do projeto), porém, permite dentro do nicho cônico um movimento para o completo assentamento circunferencial. Os dentes da cunha penetram na superfície externa da cor-

doalha enquanto tentam se moldar à superfície irregular da cordoalha de sete fios dentro de uma forma cilíndrica perfeita. Isto é acompanhado pelo movimento do aço sob força tentando eliminar todos os espaços vazios, até que os valores finais da protensão tenham sido realizados.

Como mencionado anteriormente, a cunha é projetada para compensar o movimento deste tipo de aço, portanto tem características únicas. A cunha tem superfície externa e dentes extremamente duros (para ter resistência e capacidade de penetrar na cordoalha quando a força de protensão for aplicada). O núcleo, entretanto, é relativamente macio e permitir que a cunha exerça a necessária flexibilidade para se conformar à sua posição de fixação circunferencial final quando sob tensão. Se ela fosse totalmente rígida poderia tornar-se frágil e quebrar quando sob tensão. Se a cunha não fosse suficientemente rígida, os dentes não poderiam penetrar na cordoalha. Note que as fissuras longitudinais na cunha irão frequentemente ocorrer (devido à quantidade de movimento a que a cunha será submetida conformando-se até a posição final). Isto é aceitável e não deve ser confundido com fragilidade (Figura 8-1).



- A = Penetração dos dentes na cordoalha
- B = Fissura longitudinal
- C = Linha de fundo dos dentes
- D = Linha de borda dos dentes

Figura 8-1 Interação cunha cordoalha

8.4 PROTENSÃO

Em operações de protensão onde dois ou mais cursos do macaco de protensão são necessários para se alcançar o alongamento requerido, a tensão final deverá ser pré-calculada a fim de se usar aproximadamente 60% do curso total do macaco na puxada final. Isto irá conservar a vida e o funcionamento dos dentes da cunha até o estágio final de carga. Em situações de protensão tais como ancoragem de cabos barreira onde uma força relativamente leve é aplicada na cordoalha (usualmente de 9 a 22 kN dependendo do projeto) é interessante pré-blocar as cunhas a 80% da carga mínima de resistência à ruptura ou usar peças de ancoragem especiais, projetadas para pressionar as cunhas até a força total sem tracionar a cordoalha, de forma a assegurar o completo assentamento da cunha.

8.5 CONSIDERAÇÕES DE SEGURANÇA

Os seguintes fatores de segurança devem ser sempre considerados antes que qualquer tipo de ancoragem seja protendida:

1. Assegure a integridade do sistema verificando se os componentes e equipamentos passaram por adequada manutenção. Todo o material deve ser rastreável desde a origem. Componentes de diferentes sistemas nunca devem ser misturados e combinados.
2. As cunhas devem ser uniformemente espaçadas e ajustadas antes da protensão (altura e espaçamento/cunha bipartida).
3. Alinhe as cunhas até que o dispositivo de cravação do macaco encoste-se igualmente as duas (ou três – cunha tripartida) partes da cunha.
4. No uso de uma emenda ou outra peça de ancoragem onde a cordoalha não pode ser observada sendo empurrada através da cunha antes da protensão, a cordoalha deve sempre ser marcada primeiro para assegurar um comprimento suficiente dentro do corpo da emenda. A cordoalha deve estar completamente introduzida para mover-se através de todo o comprimento da cunha (mínimo) assegurando que a implantação da força total na emenda foi realizada.
5. Se ocorrer uma falha, todas as condições visuais dos componentes e do equipamento devem ser notificadas. Números rastreáveis devem ser registrados. Todos os fragmentos de componentes devem ser recolhidos para análise.

9. PROTENSÃO DO CABO

9.1 GERAL

A operação de protensão não deve começar até que os testes dos corpos de prova de concreto curados, sob as condições do canteiro de obras, indiquem que o mesmo tenha atingido a resistência mínima à compressão especificada para protensão, de acordo com os Documentos de Contrato ou com o Projeto.

Enquanto as recomendações apresentadas abaixo são consideradas para refletir segurança e são práticas industriais geralmente aceitas para protensão dos cabos, as práticas de companhias individuais podem variar em relação a essas recomendações. Em caso de conflito as recomendações do fornecedor da pós-tração devem prevalecer sobre as recomendações deste manual.

9.2 PREPARAÇÃO PARA PROTENSÃO

1. As fôrmas de borda devem ser retiradas tão logo quanto possível para permitir a remoção mais fácil da fôrma plástica para nicho e limpeza da cavidade da placa de ancoragem enquanto o concreto ainda está verde. Outras fôrmas são deixadas no lugar até o final da protensão.
2. Remova as fôrmas para nicho.
3. Limpe totalmente a cavidade da placa de ancoragem e remova qualquer pasta de concreto ou matéria estranha.
4. Confira a integridade do concreto tanto dentro do nicho quanto em todas as superfícies expostas. Se fissuras, vazios, bicheiras ou quaisquer outras anormalidades são vistas, NÃO PROTENDA. Se bicheiras são suspeitadas, sonde com um martelo e notifique a construtora ou designado.
5. Confira se o cabo está perpendicular à placa de ancoragem e se a placa de ancoragem está paralela à face do concreto (a menos que se fixe um ângulo diferente no projeto). Se qualquer uma delas estiver fora de alinhamento, notifique a construtora ou a firma de protensão para instruções.
6. Remova o excesso de graxa e qualquer sujeira, areia ou nata de cimento das pontas dos cabos. Não é necessário limpar totalmente as pontas, mas somente remover os materiais da superfície da área a ser pintada (marca para leitura dos alongamentos). É muito importante limpar esta área para que a marca não se apague durante a protensão.
7. Nas placas de ancoragem intermediárias onde a graxa é removida para que se faça a marcação, reaplique a graxa depois da protensão para restaurar o sistema de proteção.
8. Instale as cunhas uniformemente. Verifique se o ajuste das cunhas é perfeito e se o dispositivo de cravação do macaco está encaixado nas duas (ou três) partes da cunha.
9. Fixe as cunhas na posição com uma ferramenta de assentamento manual.
10. Marque o cabo com tinta spray usando uma pequena tábua como gabarito para ter uma referência constante em relação à borda da laje. Se os cabos forem protendidos pelas duas extremidades, é importante que ambas sejam marcadas (pintadas) antes do início da protensão.
11. Confira o equipamento de protensão:
 - a. Tenha certeza de que o equipamento está limpo, especialmente nas mandíbulas do macaco e nas áreas do pistão de cravação.

- b. O cabo de extensão elétrico deve ter três fios 6 mm² e ter no máximo 30 m de comprimento.
- c. A potência elétrica deve ser de 110 VAC, 60 ciclos, 30 ampères (geralmente).
- d. Conecte todas as mangueiras entre a bomba e o macaco verificando a ligação do manômetro.
- e. Ligue a bomba, abra e feche o macaco várias vezes enquanto confere vazamentos hidráulicos, expansão e retração dos cilindros e se o pistão de cravação está funcionando.
- f. Manter o macaco totalmente aberto ou totalmente fechado irá causar pressão excessiva, que pode danificar o equipamento e/ou danos pessoais.
- g. As folhas de aferição da calibração devem ser conferidas e a respectiva pressão registrada para protensão (aferição do manômetro).

9.3 PROTENDENDO OS CABOS

1. A protensão não deve acontecer antes que o concreto tenha a apropriada resistência (veja os registros dos desenhos de montagem estruturais e de pós-tração), mas deve ser feita tão logo isso aconteça.
2. Uma área apropriada deve ser liberada ou erguido um andaime seguro para os trabalhadores da protensão.
3. O pessoal de inspeção deve estar no canteiro de obras durante a protensão. A medição dos alongamentos e a protensão são feitas simultaneamente. Se as variações entre os alongamentos calculados e os reais excederem à tolerância, a protensão deve cessar até que a causa seja identificada e corrigida.
4. Cuidado impróprio no uso do equipamento de protensão pode resultar em danos à obra e ferimentos pessoais. Somente pessoas treinadas e qualificadas devem ter permissão para aproximar-se do equipamento de protensão durante o seu uso. Todos devem permanecer longe do cabo que está sendo protendido durante todo tempo.
5. Quando se protender acima do nível do solo, os macacos e bombas devem ficar presos a um objeto fixo por meio de uma corda de segurança para evitar que o equipamento seja arremessado para fora do edifício caso o cabo se rompa durante a protensão.
6. Assegure-se de que o pistão de cravação está completamente retraído. Ele deve estar aproximadamente 15 mm afastado da face do nariz de apoio (isto pode variar com diferentes marcas de equipamento).
7. Abra as mandíbulas do macaco puxando para trás a alavanca que une as duas partes.
8. Posicione o macaco na cordoalha a ser protendida e empurre-o à frente até o mesmo apoiar o nariz na placa de ancoragem. Nunca tente ajustar a posição do macaco com golpes ou empurrões depois que a carga pressão tenha sido aplicada. Retire a pressão, remova o macaco e reposicione-o quando necessário.
9. Empurre as mandíbulas do macaco à frente para encaixar na cordoalha, estando certo de que:
 - a. As mandíbulas do macaco estão paralelas para evitar danos a elas ou à cordoalha.
 - b. A cordoalha está na respectiva posição dentro das mandíbulas do macaco.
10. Coloque a bomba de válvula de quatro vias na posição de protensão.
11. Ponha a bomba em funcionamento usando o interruptor remoto (o uso do mesmo permite ao operador permanecer ao lado da bomba, longe de qualquer tipo de risco se o cabo ou as mandíbulas do macaco falharem).

12. Em bombas equipadas com uma válvula de seqüência ou válvula de cravação automática (Figura 9-1):
 - a. Acione o motor da bomba usando o interruptor remoto até que a pressão seja indicada no manômetro. O macaco deverá se abrir, tracionando e esticando a cordoalha, que deve se alongar conforme previsto no projeto. Nesse ponto, o macaco permanece aberto e segurando a cordoalha tensionada,
 - b. Mude a válvula de quatro vias para a posição de retorno.
 - c. Ao acionar o motor da bomba, a pressão irá permanecer no macaco e o alongamento da cordoalha será mantido, mas o manômetro baixará para zero e a pressão começará a se elevar.
 - d. Quando a pressão definida é atingida (dependendo do equipamento usado) o pistão de cravação estará completamente pressurizado, pressionando a cunha para dentro do alojamento da ancoragem um ruído de estalo será ouvido e o macaco começará a retornar. Nesse ponto, a cordoalha retornará junto com o macaco levando a cunha à sua acomodação final e ocasionando a chamada "perda por acomodação da ancoragem".
 - e. Quando o macaco estiver quase totalmente fechado (2cm), pare a bomba e mude a válvula de quatro vias para a posição de tracionamento. O pistão de cravação deverá se retrair totalmente. É importante parar a bomba e interromper a válvula rapidamente, para evitar pressão excessiva acumulada no macaco depois que tiver retornado completamente. Esta pressão excessiva acumulada pode causar uma falha prematura das juntas do macaco, mangueiras e conexões.
 - f. Deslize o macaco para frente para liberar as mandíbulas que seguravam a cordoalha e remova-o.

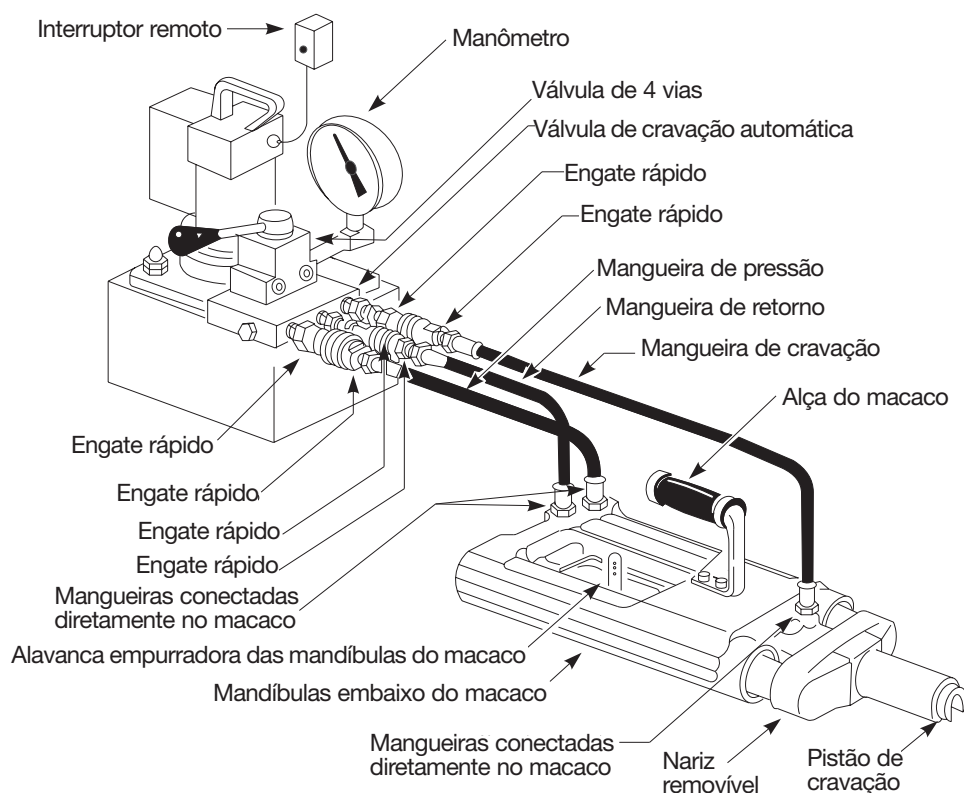


Figura 9-1 Macaco de protensão e bomba com válvula de cravação automática

13. Em bombas operadas com válvula de cravação manual (Figura 9-2):

- Com a válvula de quatro vias na posição de protensão, verifique o pistão de cravação; ele deverá estar totalmente retraído.
- Feche a agulha da válvula do dispositivo de cravação.
- Acione o motor da bomba (usando o interruptor remoto) até que a pressão prevista seja indicada no manômetro.
- Pare a bomba e abra imediatamente a agulha da válvula do pistão de cravação (uma pequena quantidade de pressão escapará do macaco para alimentar o pistão de cravação).
- Mude a válvula de quatro vias para a posição de retorno.
- Acione a bomba para retornar o macaco (este passo não é necessário em macacos com retorno por mola).
- Quando o macaco estiver quase totalmente retraído (2cm), pare a bomba e mude a válvula de quatro vias para a posição de tracionamento. Verifique o dispositivo de cravação para ter certeza de que retornou completamente. Feche a agulha da válvula do dispositivo de cravação. É importante parar a bomba e interromper a válvula rapidamente para evitar pressão excessiva acumulada no macaco depois que tiver retornado completamente. A pressão excessiva acumulada pode causar falha prematura das juntas de vedação do macaco, mangueiras e conexões.
- Deslize o macaco para frente para liberar as mandíbulas que seguravam a cordoalha e remova-o.

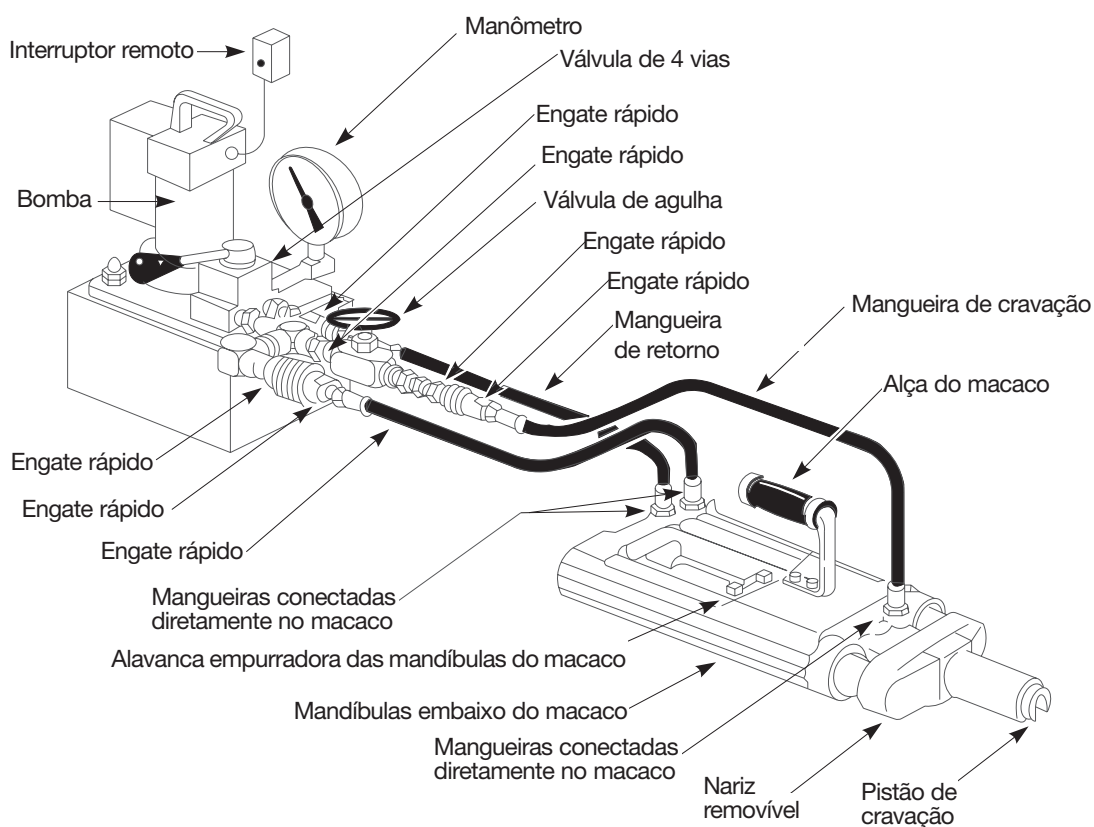


Figura 9-2 Macaco de protensão e bomba com válvula de cravação manual

14. O manômetro deve estar visível e perpendicular ao operador que o está monitorando. Leitura lateral do medidor ou em ângulo implicará em leituras defeituosas.

15. Se o alongamento calculado for maior do que o curso do macaco, puxadas adicionais serão necessárias. Cuidado para não dar pressão em excesso no macaco depois que o cilindro estiver completamente aberto. Quando se estiver usando um curso de macaco de 205 mm, tente deixar aproximadamente 125 mm para a puxada final. Isto manterá as pressões tão baixas quanto possível nas cunhas da ancoragem durante os cursos iniciais e evitará que a cordoalha escorregue através das cunhas de ancoragem na última puxada.
16. Verifique o alongamento medido (a distância da borda do concreto até a marca pintada na cordoalha, menos a dimensão da tábua/gabarito usada para marcar os cabos). Em protensões pelas duas extremidades, sempre puxe ambas as pontas aplicando toda a pressão e adicionando o alongamento de cada uma delas para se obter o alongamento total.
17. O alongamento medido deve ser de $\pm 7\%$ dos valores mostrados nos desenhos de montagem. A medição do alongamento deve ter uma precisão de ± 3 mm. Se houver discrepâncias que excedam a 7% de tolerância, NÃO PROTENDA MAIS qualquer cabo até que o problema seja identificado e corrigido (revise o item 18). Um registro da pressão do manômetro, da força do macaco e do alongamento medido deve ser mantido para cada cabo. Uma forma simples de registro da protensão é mostrada no Apêndice da Seção 15.3. Submeta os registros completos da protensão ao engenheiro para aprovação antes do corte das pontas dos cabos.
18. Causas de alongamento inadequado:
 - a. Procedimento de marcação precário. Quando realizar a marcação, verifique se está usando um ponto de referência conhecido e fazendo uma marca visível na cordoalha.
 - b. Medição imprecisa. Verifique sua trena/metro de medição. Tenha certeza de que o instrumento não está quebrado.
 - c. Leitura imprecisa do manômetro. Tenha certeza de que você tem uma tabela de calibração adequada para o manômetro que está sendo usado. Tente outro conjunto de equipamentos para determinar se o manômetro inicial está medindo corretamente.
 - d. Procedimento de protensão inadequado. Tenha certeza de que não existe qualquer obstáculo no caminho do macaco estendido e que o mesmo está apoiado perpendicularmente sobre a placa de ancoragem.
 - e. Erros matemáticos. Verifique suas adições e subtrações, especialmente em protensões pelas duas extremidades.
 - f. Perda de cravação excessiva. Esteja certo de que a cavidade da placa de ancoragem está perfeitamente limpa. Verifique na placa de ancoragem se as cunhas foram empurradas para dentro uniformemente.
 - g. Mau funcionamento do equipamento. Teste o macaco para determinar se ele suporta a pressão sem perder alongamento antes das cunhas serem fixadas.
 - h. Acúmulo excessivo de atrito. Isto pode ser causado por falta de graxa na cordoalha, colocação imprópria do cabo ou da placa de ancoragem ou por movimento do cabo enquanto o concreto é lançado.
 - i. Colocação inadequada do cabo ou mudança do local da junta intermediária de construção e de protensão.
 - j. Colocação inadequada das cunhas. As cunhas devem ser colocadas de tal forma que o pistão de cravação se apoie uniformemente em todas as seções da cunha.

- k. Detritos ou pasta de concreto na cavidade da placa de ancoragem. Destensione o cabo e limpe a cavidade da placa para permitir que as cunhas sejam fixadas adequadamente.
 - l. Cordoalha exposta entre a placa de ancoragem e o final da bainha na extremidade ativa. Se uma boa conexão da bainha plástica não foi feita com a placa de ancoragem, a cordoalha exposta pode aderir ao concreto causando atrito excessivo.
 - m. Mandíbulas do macaco desapertadas. Se as mandíbulas do macaco estão balançando, isto pode fazer com que a cordoalha se arraste, provocando um excessivo atrito ou possível dano para o cabo e podendo causar a fissuração ou a quebra da mandíbula do macaco.
 - n. Variação nas propriedades do material (módulo de elasticidade e/ou área da cordoalha).
 - o. Alongamento excessivo pode significar baixo atrito, coeficiente de oscilação ou protensão excessiva dos cabos.
 - p. Equipamentos de protensão desregulados. Macaco e manômetro devem ser regulados de acordo com os registros de calibração (veja seção 15.2).
 - q. Escorregamento da cordoalha. As cunhas da extremidade oposta à ancoragem ativa podem não ter sido fixadas adequadamente, permitindo que a cordoalha escorregue. Isto é mais provável de ocorrer em puxadas pelas duas extremidades, mas pode ocorrer em ancoragens passivas caso a pré-blocagem não tenha sido feita adequadamente.
 - r. Bicheira no concreto da zona de ancoragem pode aparentar excessivo alongamento quando as ancoragens, tanto a ativa quanto a passiva, podem "andar" para dentro do concreto.
19. Problemas que podem ocorrer durante a protensão:
- a. O macaco não consegue se estender ou retrain. Verifique depressa se todos as ligações hidráulicas estão conectadas. Se elas não estiverem conectadas adequadamente ou estiverem danificadas impedirão a passagem do óleo e a movimentação do macaco para dentro e para fora. Uma indicação disto é verificar se as mangueiras estão rígidas, o que indica que a pressão está acumulada mas não tem para onde ir.
 - b. Quando a bomba é equipada com um bloqueador de seqüência ou uma válvula de cravação automática. O macaco se estende mas não se retrai e a pressão se acumula em todas as mangueiras. Isto pode ser causado por uma esfera de aço (no bloqueador de seqüência ou na válvula de cravação automática) que não foi empurrada para fora de sua posição (reparos no campo não são recomendados).
 - c. O macaco se estende ou se retrai vagarosamente.
 - 1. O cabo de força não é grosso o suficiente. Ele deve ter 6 mm^2 .
 - 2. O cabo de força é muito comprido. Ele não deve ter mais de 30 m.
 - 3. Energia insuficiente no canteiro de obras.
 - 4. As juntas de pressão do macaco na válvula de quatro vias estão provocando um desvio. Isto pode ser testado elevando-se a pressão no macaco até 22 kN enquanto está completamente estendido; pare a bomba e veja se a pressão se sustenta no manômetro. Se a pressão não se sustentar o equipamento deve ser reparado.

5. A bomba pode estar com nível baixo de óleo.
6. O filtro da bomba pode estar sujo.
7. Os pistões da bomba podem estar gastos.

9.4 PROTENSÃO DE CABOS EM LAJES SOBRE O SOLO

A protensão de lajes sobre o solo é muito parecida com outras aplicações, porém, requer maior cuidado:

1. Tenha certeza de que os obstáculos foram removidos da parte de trás do macaco. Se o macaco não tiver caminho livre para estender, parte da sua força será despendida para mover obstáculos, portanto, alongará menos.
2. Limpeza extra do macaco, das mandíbulas e da cordoalha devem ser feitas nas construções de lajes sobre o solo por causa da proximidade de sujeira e areia enquanto estiver protendendo. Sujeira, areia e pasta de concreto são muito prejudiciais às juntas do macaco e aos dentes das mandíbulas. Limpos eles duram mais e funcionam melhor.

9.5 PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA

1. A segurança no canteiro de obras é um dos fatores mais importantes. Siga todos os regulamentos de segurança, incluindo todas as normas aplicáveis, regulamentos estaduais e locais e todos os regulamentos do canteiro de obras.

Siga os procedimentos e a seqüência de protensão conforme definido nos desenhos de montagem. Isto é importante para evitar danos ao escoramento, à estrutura e aos envolvidos na obra.

2. Não permita que alguém fique perto do macaco ou da bomba, para evitar ferimentos no caso do cabo ou do concreto se romperem.
3. A bomba e o macaco devem ser seguramente amarrados em um objeto sólido quando estiverem trabalhando em locais acima do térreo.
4. Nunca use equipamentos de protensão ou acessórios que não estejam completos conforme fornecidos pelo fabricante ou pela empresa de protensão.
5. Nunca permita que alguém permaneça na parte de cima da laje nem na linha dos cabos enquanto estiver ocorrendo a protensão.
6. Lembre-se que protender um cabo envolve a transferência de uma força elevada para ambas as extremidades do mesmo e as áreas de cada extremidade necessitam da mesma precaução.
7. A protensão deve acontecer na própria plataforma de trabalho, providenciada pela construtora ou seu designado. Não faça a protensão por cima da própria laje. Isso pode ser perigoso. Esta laje deve estar limpa e livre de entulhos.
8. Mantenha as mãos fora do macaco enquanto a operação de protensão estiver acontecendo e enquanto o macaco estiver sendo retraído.
9. Mantenha a região livre de qualquer mangueira ou cabos elétricos enquanto a protensão estiver acontecendo. Se um cabo ou as mandíbulas do macaco falharem tudo pode ser arremessado para fora da estrutura juntamente com o equipamento.
10. Somente um profissional qualificado pode destracionar um cabo usando equipamentos adequados (consulte a firma de protensão):
 - a. Um macaco com o nariz removível ou uma cadeira de apoio presa ao cilindro do mesmo pode ser usado se ele estiver perpendicular e firmemente assentado contra o concreto.

- b. Uma ferramenta de destracionamento ou uma cadeira de protensão que assente firmemente contra o concreto sólido e perpendicular ao macaco.
 - c. Um nariz de destracionamento especial que assente firmemente contra a placa de ancoragem.
11. Se o macaco ficar preso ou as cunhas de ancoragem falharem na segunda puxada, NUNCA use um segundo macaco atrás do primeiro (nas costas). Nesta situação, equipamentos especiais ou procedimentos devem ser usados:
- a. Uma ancoragem especial para reparos pode ser usada para os mais diversos tipos de macacos.
 - b. Uma ferramenta de destracionamento ou uma cadeira pode ser usada se ela assentar-se firmemente contra o concreto e estiver perpendicular ao macaco.
 - c. Se acessível, a ancoragem da outra extremidade poderá ser destracionada.
- Antes de adotar qualquer um destes procedimentos é recomendado que o engenheiro da firma de pós-tração seja contatado e a situação discutida.
12. Se o concreto estiver apresentando bicheiras ou fissuras visíveis, NÃO PROTENDA até que o mesmo tenha sido reparado e inspecionado.

9.6 NUNCA FAÇA

- 1. Não protenda qualquer cabo que contenha pasta de concreto dentro da cavidade da placa de ancoragem.
- 2. Não use o macaco quando ele não estiver posicionado adequadamente na face da placa de ancoragem.
- 3. Não protenda o cabo excessivamente com o objetivo de atingir o alongamento adequado.
- 4. Não permita obstruções no espaço em que o macaco irá se abrir.
- 5. Não use cabos elétricos com extensão maior que 30 m ou com menos de 3 fios de 6 mm^2 .
- 6. Pare a protensão se você suspeitar que alguma coisa não está ocorrendo adequadamente.
- 7. Não destracione com placas soltas, calços inadequados ou pelas costas do macaco.
- 8. Não fique perto do macaco ou entre o macaco e a bomba durante a protensão ou desprotensão.
- 9. Não permita que alguém fique perto do macaco, da bomba ou ao longo do cabo durante a aplicação da protensão.
- 10. Não martele ou bata no macaco ou nos cilindros do mesmo.
- 11. Não ative o equipamento se você não souber; pergunte a alguém que saiba.

9.7 PERGUNTAS A SEREM RESPONDIDAS COM “SIM” PARA INSPEÇÃO ANTES, DURANTE E DEPOIS DA PROTENSÃO DOS CABOS

- 1. A cavidade da placa de ancoragem da extremidade ativa está livre de pasta de concreto, sujeira ou plástico?
- 2. A peça usada para pintar a cordoalha / gabarito como referência na medida de alongamentos está definida (a precisão da marcação é crítica para se alcançar medições de alongamentos precisos. A mesma peça deve ser usada ao longo de toda a obra)?

3. As cunhas são novas, os dentes não estão deformados? Estão livres de ferrugem e rebarbas de aço? São de qualidade?
4. As cunhas são de tamanho e comprimento adequados para a cordoalha e a placa de ancoragem que estão sendo usadas?
5. As cunhas foram colocadas e assentadas uniformemente (todos os pares devem ser adequadamente alinhados e igualmente espaçados)?
6. Você usou uma ferramenta de assentamento manual de cunhas?
7. Foi feita a manutenção dos equipamentos de protensão e os certificados de calibração atualizados estão disponíveis?
8. O operador do macaco de protensão é experiente e cuidadoso com o equipamento mantendo coerência de cabo para cabo?
9. Os alongamentos medidos estão de acordo com os valores calculados indicados nos desenhos de montagem?
10. Os alongamentos medidos estão registrados adequadamente?
11. Os alongamentos medidos estão aprovados?
12. Depois dos alongamentos medidos terem sido aprovados, as pontas dos cabos estão sendo cortadas com a profundidade adequada?
13. Para sistemas encapsulados, as tampas para proteção da parte externa da placa de ancoragem estão sendo instaladas conforme desenhos de montagem ou instruções do fabricante?
14. As superfícies dos nichos estão suficientemente limpas para proporcionar boa aderência durante e após o grauteamento?

10. ALONGAMENTO

10.1 GERAL

Depois que as fôrmas de borda foram removidas, os cabos devem ser preparados para protensão. Uma parte significativa do procedimento de protensão é a marcação, medição e registro dos alongamentos. O procedimento seguinte deve ser seguido passo a passo com o objetivo de obter resultados de protensão e registros adequados.

10.2 PREPARAÇÃO

1. A fôrma para nicho deve ser removida.
2. A limpeza da cavidade da placa de ancoragem deve ser feita suavemente para que não seja danificada.
3. A cavidade da placa de ancoragem, cunhas e a cordoalha devem estar isentas de qualquer pasta de concreto, pedrisco, sujeira ou material estranho, caso contrário, as cunhas podem não se assentar eficazmente e/ou a cordoalha pode escorregar durante ou depois da cravação da cunha.
4. As cunhas devem ser colocadas e assentadas com uma ferramenta de assentamento manual.
5. Usando um gabarito (peça de 10 cm de largura, por exemplo) para estabelecer uma medida de referência constante em relação à face do concreto, marque com tinta spray de secagem rápida. Não pinte por cima de outra pintura para não comprometer a precisão da atual. Por exemplo, se a pretensão é ter uma marca a 100 mm de distância da borda da laje, então, a marcação deve ter exatamente 100 mm.
6. Para qualquer condição de ângulo da laje, a marca deve ser considerada a partir da placa de ancoragem. A dimensão final também é medida da placa de ancoragem para se calcular o alongamento.
7. A marcação deve estar clara. Uma marca larga ou manchada resultará em uma medida de alongamento imprecisa.
8. Antes da protensão das duas extremidades ativas do cabo, as cunhas da extremidade oposta em relação à primeira extremidade ativa devem ser bem batidas e posicionadas. Se isto não for feito, a cordoalha pode escorregar e resultar em medição de alongamento imprecisa. As marcações devem ser aplicadas em ambas as extremidades antes da operação de protensão.
9. O equipamento de protensão deve ser mantido em bom estado. O conjunto de equipamentos de protensão - incluindo o manômetro - deve ser verificado antes da operação de protensão. Um jogo de equipamentos de protensão que não trabalhe adequadamente pode resultar em alongamentos irregulares.
Atenção especial às mandíbulas do macaco, que devem ser mantidas limpas por todo o tempo. As placas dos fixadores das mandíbulas do macaco não devem estar soltas, pois isto fará com que as mandíbulas do macaco se movam desigualmente resultando num possível rompimento de um dos fios ou da cordoalha.
10. A escala de medição (metro, trena) deve ser rígida e estar sempre limpa.

10.3 MEDIÇÃO

1. Protenda cada cabo adotando o procedimento de protensão adequado conforme resumido no Capítulo 9.

2. Nunca protenda cabos com manômetro em que a leitura seja maior do que o equivalente a 147 kN ou 1860 Mpa para a cordoalha de 12,70 mm. Consulte a tabela de calibração do seu equipamento de protensão. Dar uma força excessiva no cabo para se tentar obter um alongamento maior não é permitido. A tabela de calibração enviada pela firma de protensão deve ser seguida estritamente.
3. Depois de remover o macaco da ponta do cabo, coloque a peça de marcação contra a superfície do concreto, meça a distância da peça de marcação até a marca de referência, com precisão de 3,00 mm, e registre no modelo de registros de protensão (Apêndice 15.3) encaminhado pelo fornecedor da pós-tração. Esta distância será o "alongamento medido". Este alongamento deverá ser comparado com +/- 7% do alongamento calculado, mostrado nos desenhos de montagem.
4. Atenção às medições de alongamentos em cabos com pontas longas (>2m). Estes cabos normalmente se curvam devido ao seu próprio peso. O alongamento deve ser medido enquanto o cabo estiver reto e não curvado.

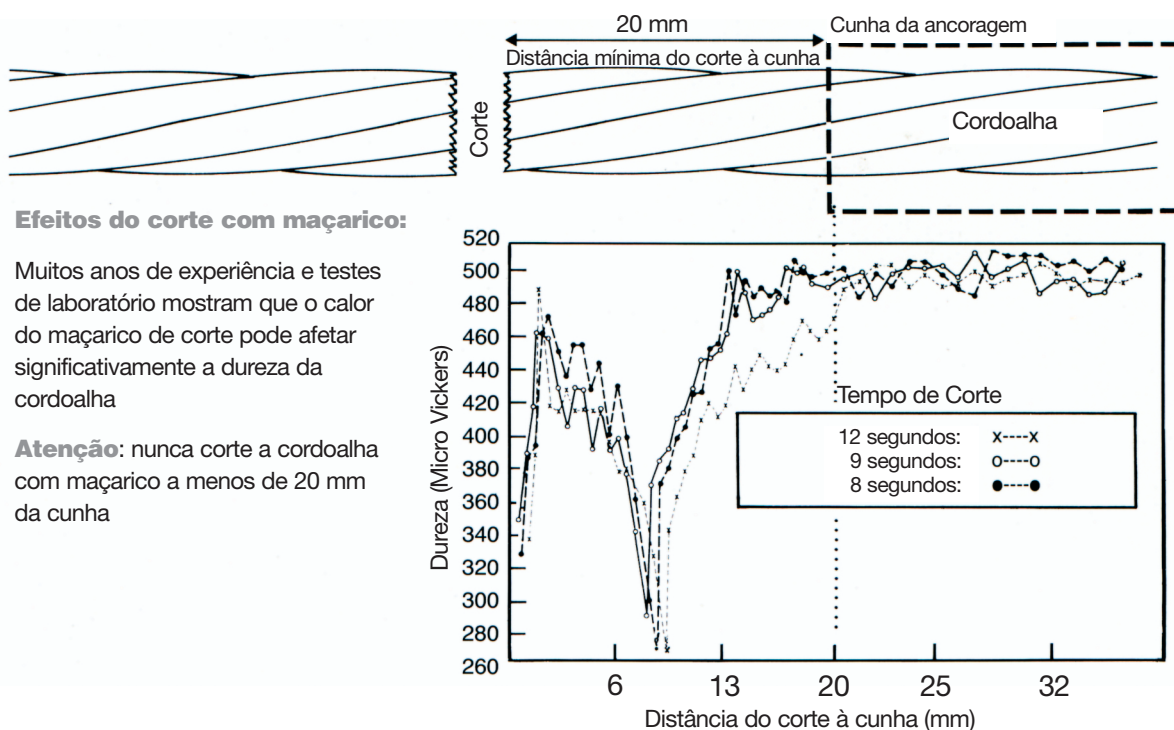
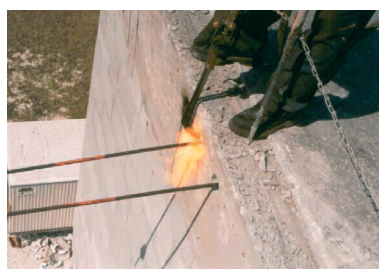
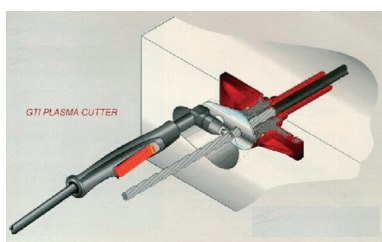
10.4 REGISTRO

1. A medição do alongamento deve ser registrada quando o cabo acabou de ser protendido e não ao final da protensão de um determinado número de cabos.
2. A menos que as especificações requeiram o contrário, o modelo de registros de protensão encaminhado pela firma de protensão ou pelo inspetor deve ser usado para registrar os alongamentos atuais.
3. Os registros de protensão devem mostrar os seguintes dados:
 - a. Número de identificação dos cabos
 - b. Número do pavimento da concretagem
 - c. Data da protensão
 - d. Número de identificação dos equipamentos de protensão
 - e. Pressão requerida no manômetro conforme tabela de calibração encaminhado pela firma de protensão
 - f. Seqüência da protensão por vigas
 - g. Qualquer dado especial / observações relacionadas à protensão
 - h. Nome da obra
 - i. Nome da construtora
 - j. Nome do operador
 - k. Alongamento medido
 - l. Número e data dos desenhos de montagem usados para montagem e protensão
4. Registre estas medições e compare com o alongamento calculado.
5. Se o alongamento medido estiver dentro da variação permitida, mova o equipamento para o próximo cabo e continue a operação de protensão.
6. Se o alongamento medido não estiver dentro da variação permitida, pare de protender e contate a construtora ou seu designado.
7. Verifique possíveis causas de alongamentos inadequadamente (conforme resumido na Seção 9.3, item 18).
8. A firma de protensão deverá participar ativamente na resolução de problemas de alongamento.
9. O registro completo da protensão deve ser remetido à construtora (ou seu designado) para que seja repassado ao engenheiro do projeto.

11. ACABAMENTO DOS CABOS

11.1 CORTE DA PONTA DOS CABOS

1. O corte da ponta dos cabos deve ser efetuado logo após a protensão dos mesmos, mas somente depois da aprovação da medida dos alongamentos pelo engenheiro de projeto.
2. As cordoalhas devem ser cortadas com equipamento de corte oxiacetilênico, disco abrasivo, corte a plasma ou tesoura hidráulica. No caso de corte com maçarico oxiacetilênico, evite que a chama atinja as cunhas diretamente. O comprimento da cordoalha projetado além das cunhas após o corte deve ficar entre 13 e 20 mm.



3. Em ambientes agressivos a cordoalha deve ser cortada com um dado comprimento a partir das faces das cunhas, conforme especificado para o sistema encapsulado.
4. Para sistemas encapsulados, instale uma tampa cheia de graxa protetora de acordo com as diretrizes do fabricante do sistema. Lembre-se que o tempo é essencial para uma protensão adequada do cabo em sistemas encapsulados. Portanto, realize a instalação da tampa dentro do prazo de 24 horas.

11.2 GRAUTEAMENTO DO NICHOS DE PROTENSÃO

1. Após o corte das pontas do cabo, sua extremidade (assim como a parte exposta da placa) deve receber cobertura (pintura) com material preventivo contra corrosão.
2. Antes da aplicação do graute, o nicho de protensão deve estar livre de qualquer sujeira/pedrisco/óleo/graxa para que uma boa aderência seja conseguida entre o concreto e o graute. Um agente de aderência pode facilitar o processo.
3. Logo após a protensão do cabo e do corte, os nichos de protensão devem ser preenchidos com aplicação de graute que não sofra retração e nem contenha metálicos. Sob nenhuma circunstância deixe os nichos expostos por muito tempo.
4. O graute usado para preenchimento do nicho não deve conter cloreto ou outra substância química conhecida por ser nociva ao aço de protensão.

12. SISTEMAS ENCAPSULADOS

12.1 GERAL

O uso de monocordoalha pós-tracionada tem aumentado ao longo das últimas décadas, da mesma forma que os sistemas de pós-tração têm evoluído ao longo do mesmo período. Os sistemas de pós-tração, como muitos outros sistemas de construção, estão continuamente sendo melhorados tanto do ponto de vista da qualidade quanto da economia. Alguns dos sistemas instalados recentemente têm mostrado à indústria da construção que um melhor sistema de proteção contra a corrosão se faz necessário para ambientes agressivos (corrosivos).

12.2 PROPÓSITO E FINALIDADE

O propósito deste capítulo é explicar a necessidade e o método de proteção contra a corrosão por longo prazo. Um entendimento claro do sistema completo é essencial para uma proteção adequada, treinamento e certificação do pessoal de campo envolvido em qualquer aspecto da aplicação destes sistemas.

A finalidade deste capítulo é tratar todos os passos essenciais na montagem de um sistema adequado, para treinamento dos envolvidos na aplicação destes sistemas no campo.

Para executar um sistema encapsulado efetivo, o responsável deve ter bom entendimento do processo completo, desde a cordoalha nua até a estrutura de concreto concluída.

12.3 FABRICAÇÃO DE CABOS ENCAPSULADOS

A proteção das ancoragens passivas é efetuada através da instalação de componentes especiais de encapsulamento de ancoragens passivas. O sistema deve ser montado por completo antes de ser expedido do canteiro de fabricação. Isto evita que elementos corrosivos penetrem nas ancoragens passivas. Verifique se as ancoragens passivas estão sendo montadas de acordo com as diretrizes do fabricante do sistema.

Durante todas as fases de fabricação, mantenha a integridade da proteção contra a corrosão conforme o Instituto da Pós-Tração e as especificações do fabricante do sistema de ancoragem. Uma vez entregue na obra, a responsabilidade passa a ser do instalador.

12.4 DESCARREGAMENTO DE CABOS ENCAPSULADOS

O descarregamento de cabos encapsulado por meio de equipamento deve ser supervisionado e executado com extremo cuidado. Somente alças de nylon devem ser usadas para suspender os cabos. Empilhadeiras desprotegidas ou correntes não devem ser usadas. Cuidado para não arrastar os materiais pela carroceria do caminhão ou qualquer outro tipo de assoalho. Isto pode causar um dano extremo para a bainha plástica do cabo.

12.5 MANUSEIO DE CABOS ENCAPSULADOS NO CANTEIRO DE OBRAS

A movimentação e manuseio dos cabos devem ser efetuados tendo em mente que qualquer dano ao material da bainha implicará em substituição ou reparo do cabo.

12.6 INSTALAÇÃO DE SISTEMAS ENCAPSULADOS

Todo o material deve ser estendido e montado de acordo com os desenhos de instalação.

Atenção para montar todos os sistemas encapsulados em estrita concordância com as especificações do projetista e com as diretrizes e instruções do fabricante do sistema encapsulado.

Todo o sistema foi projetado para ser à prova d'água. Entretanto, todo dano ou material instalado inadequadamente deve ser inspecionado, reparado e/ou substituído antes do lançamento do concreto. Sistemas de ancoragens encapsuladas com tubos, selos, tampas e/ou placas de ancoragem revestidas devem ser inspecionados de acordo com especificações do projetista e diretrizes do fabricante do sistema. Os reparos devem ser executados de acordo com as recomendações do Instituto da Pós-Tração americano e com as diretrizes do fabricante do sistema.

Muito cuidado durante o lançamento do concreto para não mover ou danificar qualquer parte do sistema de pós-tração.

12.7 ACABAMENTO DO SISTEMA ENCAPSULADO

O passo final de um sistema encapsulado é a protensão, o corte, a proteção com tampa e o grauteamento dos nichos de protensão.

A proteção da extremidade passiva deve ser feita limpando-se o nicho e instalando-se uma tampa cheia de graxa protetora aprovada, de acordo com as diretrizes do fabricante do sistema.

O grauteador deve inspecionar a tampa verificando se a montagem está adequada antes de grautear o nicho de protensão.

13. CABOS BARREIRA

13.1 GERAL

Os cabos barreira são usados principalmente em prédios de estacionamento. Os cabos são instalados ao longo das rampas, ao redor do perímetro de um prédio ou em qualquer lugar onde um carro ou uma pessoa possa transpor a borda da laje. A cordoalha mais usada como cabo barreira é a de sete fios com diâmetro de 12,70 mm. É geralmente galvanizada ou revestida com plástico, epóxi ou poliéster.

Em um prédio de estacionamento típico, o primeiro cabo é colocado 100 mm acima da laje. Então, os cabos são colocados a cada 100 mm até uma altura de aproximadamente 1,10 m ou o equivalente a 11 cordoalhas. Estes espaçamentos e/ou alturas podem variar dependendo dos códigos locais de construção.

Existem dois métodos de montagem. O primeiro consiste em passar os cabos através das luvas plásticas localizadas nos pilares internos e ancorá-los nos pilares de extremidade. O segundo consiste em fixar os cabos na borda interior dos últimos pilares com tubos de aço estrutural e cantoneiras. Em projetos com cabos extremamente longos, pode ser necessário ancorar o cabo em um dos pilares centrais para descontinuar seu comprimento, e assim, reduzir a flecha do mesmo.

É muito importante que o sistema de ancoragem seja compatível com o cabo fornecido.

13.2 INSTALAÇÃO DOS CABOS ATRAVÉS DOS PILARES



**Cabos barreira no Shopping Center
Iguatemi de Fortaleza - CE**

1. No interior dos pilares coloque um tubo de PVC na fôrma do pilar antes da colocação do concreto. Consulte os desenhos para o correto espaçamento e locação.
2. Nos pilares extremos, dois métodos de ancoragem dos cabos podem ser usados (Figura 13-1):

1º. Método - A ancoragem travada atrás do pilar normalmente emprega uma placa de ancoragem em cada extremidade. Uma fôrma para nicho, uma placa de ancoragem e um tubo de PVC são colocados nas fôrmas dos pilares antes do lançamento do concreto. Isto é necessário para acessar a placa de ancoragem atrás do pilar. Depois que as fôrmas e a fôrma para nicho são removidos, o cabo é passado pelo interior dos pilares até o último pilar. Coloque a cunha bipartida (ou tripartida) dentro de cada ancoragem. Tenha certeza de que as cunhas estão uniformemente colocadas.

Coloque um macaco standard sobre o cabo com o nariz apoiado contra a placa de ancoragem. Protenda os cabos com a força requerida conforme mostrado nos desenhos de montagem ou do contrato. Uma vez que a pressão correta é obtida, fixe as cunhas com o pistão de cravação do macaco.

Uma protensão invertida (pré-blocagem) é requerida para este método (veja Seção 13.4 sobre considerações para uma protensão especial).

2 °. Método - O método da placa de ancoragem inserida emprega uma peça de ancoragem especial enfiada dentro de um porta-ancoragem colocado na parte interior do último pilar. Este porta-ancoragem pode ser inserido antes ou depois do lançamento do concreto (neste caso o concreto pode ser furado). Depois que as fôrmas são removidas o cabo é passado através dos pilares. As extremidades do cabo são então empurradas para dentro da placa de ancoragem e parafusadas dentro do porta-ancoragem. A fixação da cunha é efetuada por uma peça mecânica que carrega e assenta a cunha por completo, usando uma chave inglesa, sem que o acionamento hidráulico do macaco seja necessário.

Nesse processo não são considerados os furos na fôrma, a preparação da fôrma para nicho e o grauteamento. Os cabos são acessíveis para reparos e manutenção.

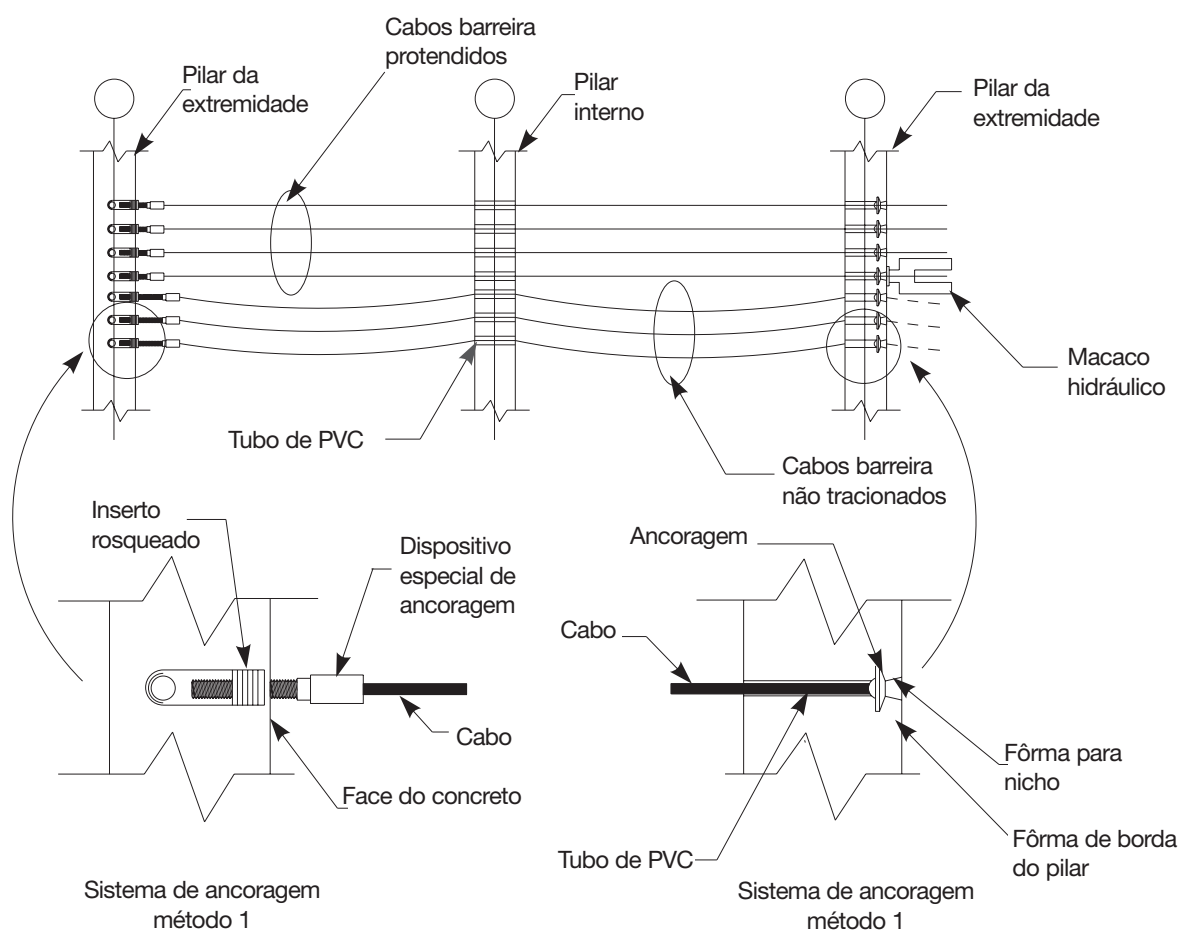


Figura 13-1 Protensão de cabo barreira - Pilar de concreto

13.3 INSTALAÇÃO DOS CABOS NA BORDA DOS PILARES

1. Em um lado do pilar prenda uma cantoneira ou viga metálica perto do centro do mesmo. O comprimento, o número de orifícios e as peças de conexão devem ser mostrados nos desenhos. Depois que as cantoneiras ou perfis forem adequadamente instalados, passe o cabo através deles e prenda uma ancoragem cilíndrica em cada extremidade. Coloque a cunha bipartida (ou tripartida) dentro da placa de ancoragem de cada extremidade. Tenha certeza de que as cunhas estão uniformemente colocadas. Coloque um macaco standard sobre o cabo com o nariz apoiado contra a placa de ancoragem (Figura 13-2). Protenda os cabos com a força requerida conforme mostrado nos desenhos de montagem ou contrato. Uma vez que a pressão correta seja obtida, fixe as cunhas com o dispositivo de cravação do macaco (veja Seção 13.4 sobre considerações para protensão especial).

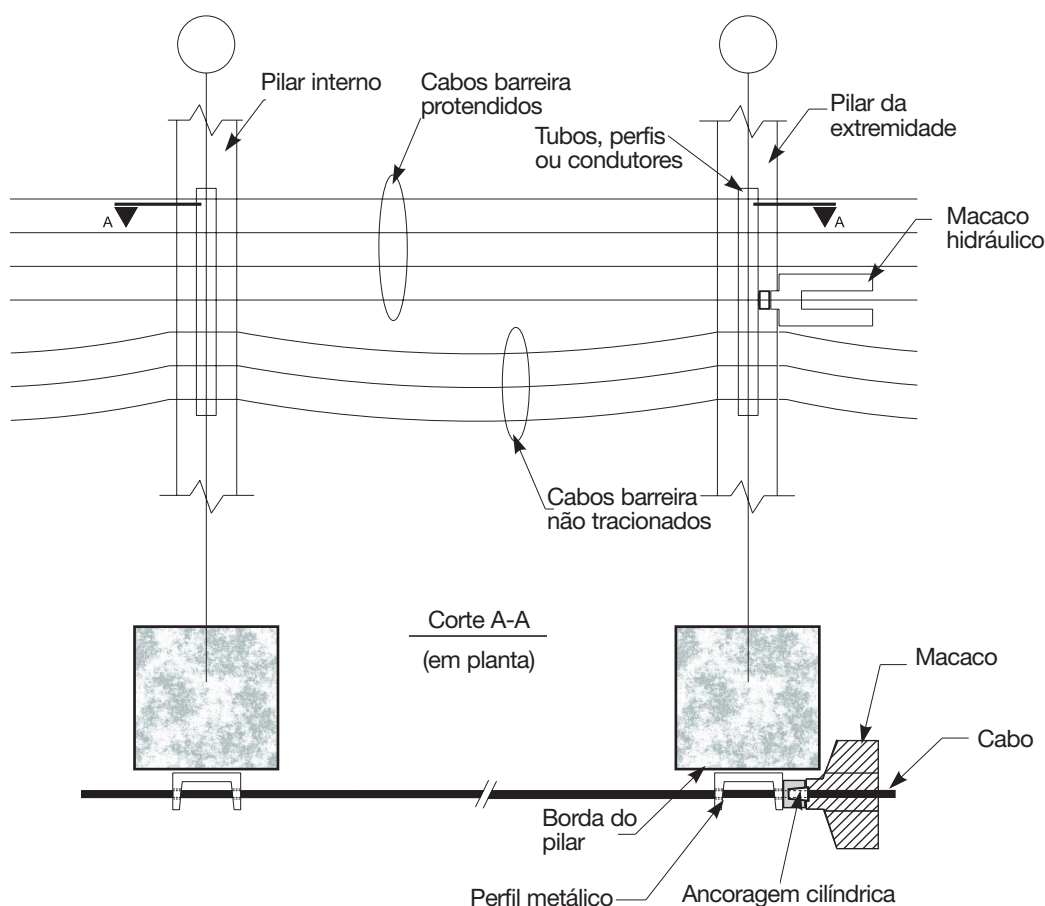
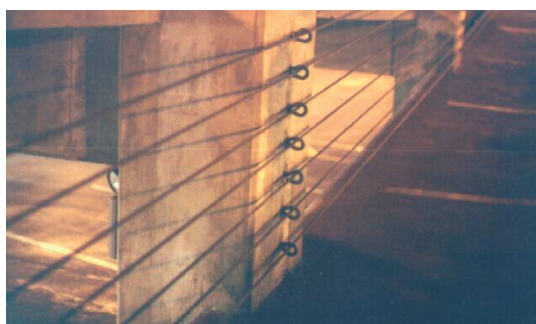


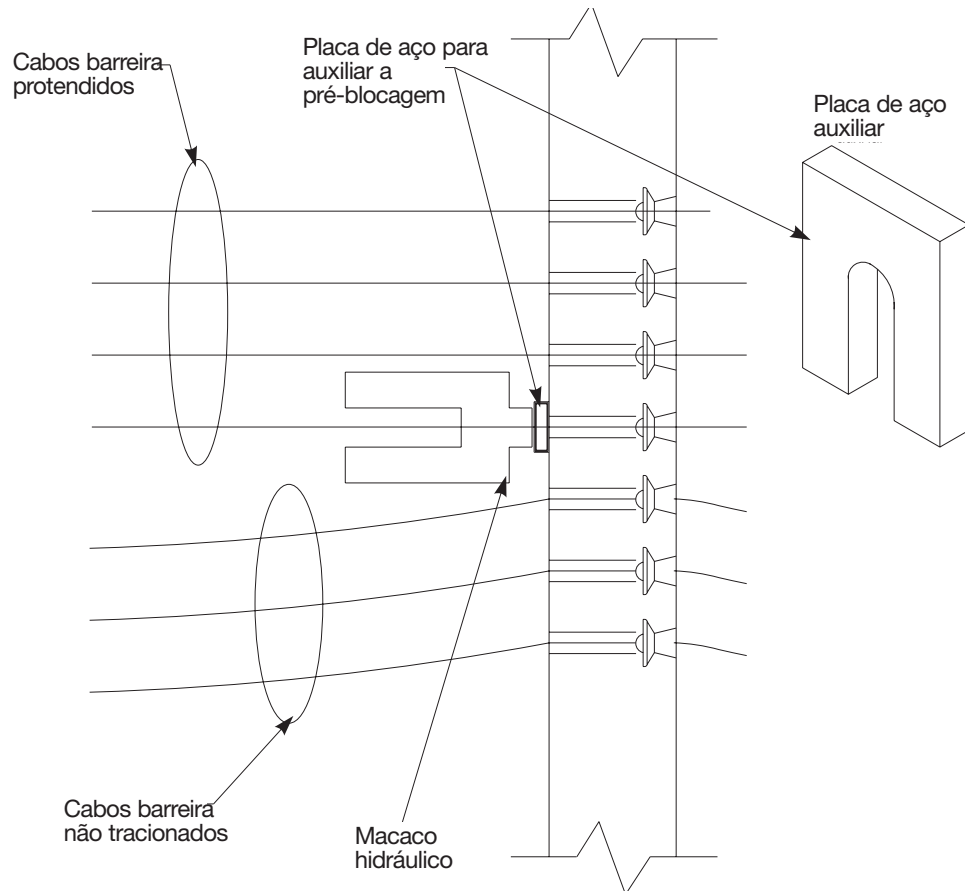
Figura 13-2 Protensão do cabo barreira - Passando pelas bordas



Cabos barreira colocados em olhais na borda do pilar

13.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE PROTENSÃO ESPECIAL

1. É recomendado que a ancoragem do lado não ativo seja pré-blocada com uma força igual a 80% do limite de resistência da cordoalha. Esta protensão deve ser executada por pré-blocagem, usando uma placa de aço provisória com uma abertura (fenda) contra a face do pilar (Figura 13-3). Isto deve ser feito antes da protensão (a menos que o cabo seja protendido pelas duas extremidades).

**Figura 13-3 Pré-blocagem do cabo barreira**

2. Tenha extremo cuidado ao executar a operação de protensão. Em muitos casos, a força lateral requerida para fixar adequadamente as cunhas pode exceder os critérios estabelecidos no projeto do pilar e causar sérios danos ao mesmo (IMPORTANTE: veja Seção 13.4.3 relativa à protensão lateral excessiva). Muitos sistemas de cabos barreira são projetados para serem tracionados com uma força relativamente baixa, mesmo que forças maiores sejam previstas no futuro.
3. Protenda os cabos somente com a força requerida nos desenhos de montagem. Use equipamentos calibrados para protensão. Pare de protender se os perfis, suportes, pilares, etc. mostrarem qualquer sinal de destracionamento durante a protensão. Qualquer problema deste tipo deve ser levado ao conhecimento da construtora ou seu designado. Sérios danos podem ocorrer ao pilar se houver protensão em excesso.
4. Ao protender cabos barreira os registros de alongamento não são requeridos. Não existe uma forma de se determinar em que ponto a catenária do cabo foi eliminada e quando você realmente começa a alongar o cabo.

5. Mantenha a cordoalha, as cunhas e a cavidade da placa de ancoragem livres de contaminação durante a montagem e protensão.
6. Use cunhas bipartidas (ou tripartidas) na cavidade da placa de ancoragem para cabos barreira. Existem duas escolhas básicas a considerar: cordoalha revestida com capa de PEAD com ou sem galvanização. Retire o revestimento desses cabos e use uma cunha normal com bons dentes que sustentem a cordoalha. O processo de retirada do revestimento plástico é normalmente feito com uma faca. É muito importante que todo o revestimento seja removido ao usar este método, que permite que as cunhas sejam fixadas adequadamente.
7. As pontas dos cabos devem ser cortadas usando tocha oxiacetilênica, disco de corte, tesoura de corte ou corte a plasma.
8. O acabamento do cabo barreira é igual ao do cabo comum (veja capítulo 11, página 83). Isto não é aplicável onde o método da ancoragem embutida é usado ou onde os cabos são instalados na borda dos pilares. Quando usada cordoalha galvanizada, uma camada extra de proteção deve ser aplicada onde os dentes das mandíbulas do macaco deixaram a marca do cabo barreira durante a pré-blocagem.

14. SOLUÇÃO DE PROBLEMAS NO CANTEIRO DE OBRAS

14.1 RISCOS

Os procedimentos descritos nesta seção podem ser arriscados, portanto, somente profissionais qualificados e com experiência mínima de 5 (cinco) anos em instalação e reparo de sistemas pós-tracionados não aderentes devem tentar estes procedimentos. Notifique a construtora geral ou o seu designado cuja assistência deve ser requerida.

14.2 PREVENÇÃO DOS PROBLEMAS MAIS FREQUENTES

Antes do lançamento do concreto, faça uma checagem da montagem do sistema de pós-tração verificando os seguintes itens:

1. Tenha certeza de que a área compreendida desde a parte de trás das placas de ancoragem até 50 cm para dentro, com um ângulo de abertura de 45° de cada lado da placa esteja isento de luvas inadequadas, “block outs”, grandes conduites ou qualquer outro vazio que possa permitir que o concreto se esmague nesta zona de alta tensão.

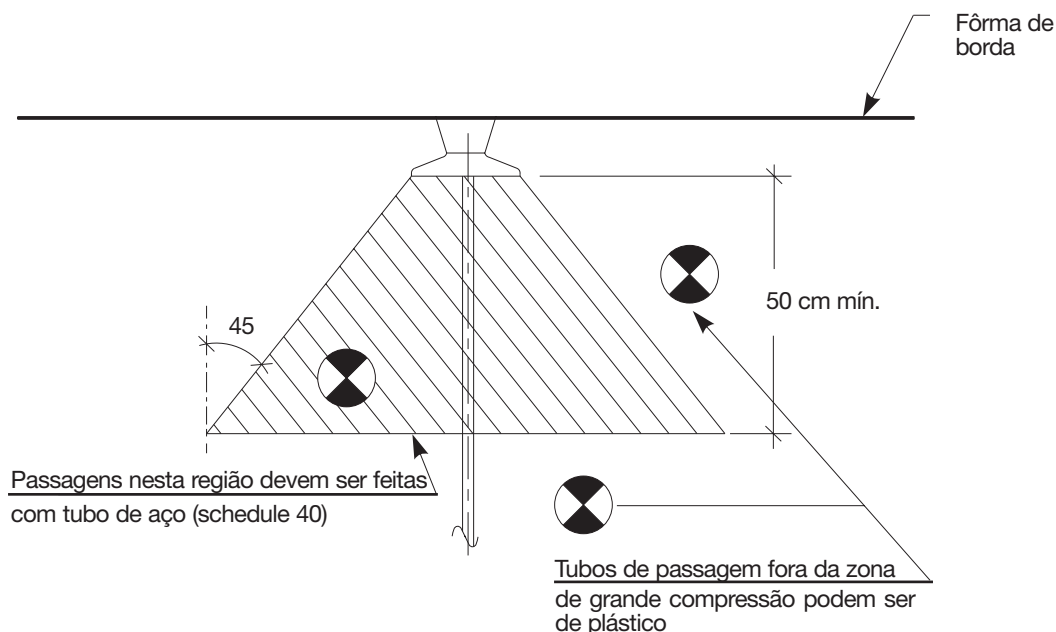


Figura 14-1 Passagens próximas da zona de ancoragem do cabo

Precaução

Freqüentemente os eletricitas, encanadores e empreiteiros de estruturas metálicas fazem suas montagens antes da concretagem, porém, depois da inspeção da pós-tração. Previna-se contra a possibilidade deles colocarem seus dutos e passagens na zona perigosa através de instrução, treinamento, verificação posterior, etc.

2. Verificando as zonas de ancoragem, tenha certeza de que todas as cordoalhas têm ponta suficientemente para fora da fôrma de borda. É melhor mover o cabo alguns centímetros além da borda da fôrma antes da colocação do concreto do que ter de usar luvas e equipamentos especiais para protender um cabo curto mais tarde.

3. Para sistemas encapsulados, a bainha deve ser conectada à placa de ancoragem de acordo com as recomendações do fabricante para assegurar que não haverá cordoalha exposta, desde que as conexões sejam impermeáveis. Entretanto, em ambientes normais, desde que não exista qualquer conexão especial entre a placa de ancoragem e a bainha, tome cuidado para diminuir ao máximo o comprimento de cordoalha engraxada sem bainha atrás da placa de ancoragem.

O comprimento máximo de cordoalha engraxada sem bainha não deve exceder a 25 mm. Se o concreto se moldar à parte da cordoalha sem a bainha plástica, poderá impedi-la de se movimentar a ponto de torcê-la quando protendida. O enrolamento helicoidal da cordoalha fará com que o macaco de protensão gire rapidamente no ciclo final de protensão podendo ferir o profissional que estiver operando o equipamento ou estourar as mangueiras do macaco. O movimento giratório da cordoalha poderá causar um desgaste prematuro das mandíbulas do macaco. É importante consertar a cordoalha exposta antes da concretagem.

4. Se mais de 25 mm de comprimento dela estiver exposta, a área sem bainha é excessiva, então, repare a bainha logo atrás da placa de ancoragem. Se a área for de difícil acesso, devido ao aço de fretagem ou outras obstruções, faça um corte circular sobre a bainha situada atrás da placa de ancoragem entre 45 e 60 cm, deslize a bainha adiante até que toque na placa de ancoragem e então repare a parte nua num local fora da região congestionada. A segunda opção tem a vantagem de deixar a área mais crítica (numa zona até 30 cm atrás da placa de ancoragem) revestida com um tubo plástico.
5. A qualidade da montagem pode ser comprometida por pessoas caminhando sobre os cabos antes da concretagem. As fôrmas para nicho devem estar presas e apertadas contra as placas de ancoragem impedindo que a pasta de concreto escorra para dentro da cavidade da placa. Isto poderá acontecer se o vibrador de concreto separar as fôrmas para nicho das placas de ancoragem. Se uma pequena quantidade de graxa for aplicada na ponta da fôrma para nicho antes de inseri-la na cavidade da placa de ancoragem, formará uma camada protetora entre as duas partes que manterá a pasta de concreto fora, mesmo que uma pequena abertura aconteça.

14.3 ESCORREGAMENTO DA CORDOALHA E/OU MACACO PRESO

1. Quando as cunhas falham ao segurar a cordoalha, a causa mais comum é a presença de pasta de concreto na cavidade da placa de ancoragem.
Se ocorrer uma separação entre a fôrma para nicho e a placa de ancoragem, a pasta de concreto pode fluir para dentro da cavidade da placa de ancoragem e se instalar na forma de um anel ao redor da cordoalha na parte final da placa de ancoragem. Isto impedirá a cordoalha de penetrar a distância adequada dentro da placa de ancoragem e resultará no escorregamento da cordoalha.
2. Se o alongamento requerer mais do que um ciclo do equipamento de protensão, isto poderá provocar o fechamento do macaco sobre o cabo: no primeiro ciclo, as cunhas normalmente seguram o cabo porque não estão completamente acomodadas às cavidades das placas de ancoragem e a pressão é baixa. No segundo ciclo, os fundos das cunhas se assentam na pasta de concreto não se acomodando igualmente e a cordoalha ficará livre para deslizar de volta para dentro do concreto, gastando os dentes das cunhas e fazendo que o macaco fique preso na cunha.

3. Dependendo das condições individuais do canteiro, podemos utilizar diferentes métodos para destracionar o cabo e liberar o macaco. NÃO USE UM SEGUNDO MACACO atrás do primeiro que esteja impedido de destracionar.
4. Se macaco está travado (preso) você necessitará de uma ancoragem de supressão inserida atrás do nariz do macaco que está apoiado sobre a placa de ancoragem embutida no concreto, mas antes do bloco de mandíbulas do macaco, com o objetivo de liberá-lo.
5. Durante este procedimento não exceda a máxima pressão recomendada.
 - a. Abra o macaco o suficiente para inserir a ancoragem de supressão sobre a cordoalha.
 - b. Insira as cunhas na ancoragem de supressão e vagarosamente libere a pressão macaco até que a tração na cordoalha seja absorvida pela ancoragem de supressão.
 - c. Continue a fechar o macaco até que as mandíbulas se soltem.
 - d. Abra o macaco completamente e então o retraia aproximadamente 50 mm.
 - e. Encaixe as mandíbulas do macaco e abra novamente. Estenda o macaco para protender a cordoalha e solte as cunhas da ancoragem de supressão (aplicando-se uma fina camada de parafina ou um produto similar na parte de fora das cunhas, fica mais fácil removê-las durante este passo).
 - f. Solte a pressão no macaco lentamente e deixe a cordoalha deslizar para dentro do concreto até que esteja completamente destracionada.
 - g. Se você notar que o macaco ficou preso novamente antes do destracionamento da cordoalha, repita os passos "a" até "f" acima.
6. Remova o macaco (assim que ele estiver solto) e as cunhas da placa de ancoragem na laje. Você provavelmente vai encontrar um pequeno filme de pasta de concreto ao redor dos lados cônicos da cavidade da placa de ancoragem ou um anel de concreto formado ao redor da cordoalha no fundo da placa de ancoragem.
7. Remova a obstrução raspando ou quebrando a pasta e retirando-a da cavidade da placa de ancoragem. Uma pequena chave de parafusos ou mesmo um picador é a ferramenta adequada para este procedimento.
8. Depois que você quebrar a pasta de concreto para limpar a cavidade da placa de ancoragem, use ar comprimido, palhinha ou assopre a cavidade da placa de ancoragem.
9. Insira um novo par de cunhas e protenda o cabo. Nunca tente reutilizar o par original de cunhas, pois os dentes estarão gastos e, portanto, inutilizados.

14.4 BICHEIRA NO CONCRETO

1. Ninhos de abelha, areia ou vazios devem ser reparados antes da operação de protensão. O reparo do concreto é de responsabilidade da construtora ou empreiteira de concretagem.
2. Ao reparar, use uma mistura de graute de alta resistência - que não retraia - com um ligante de epóxi. A resistência do graute deve ser igual ou superior à resistência do concreto especificada.
3. Não use graute ou outro material que contenha cloreto.
4. Protenda os cabos somente após o remendo de graute ter atingido a resistência requerida no projeto, conforme aprovado pelo engenheiro de projeto.

5. Reparar as bicheiras nas zonas de ancoragem é essencial para evitar estouros (rompimentos) do concreto.
6. Antes da protensão, verifique a qualidade do remendo batendo com um martelo para sondar sobre vazios. Um som oco indica um remendo pobre, inadequado para protensão.

14.5 ESTOUROS (rompimentos do concreto)

1. As causas mais comuns de estouros são devidas a existência de bicheiras, falta de reforço (armaduras e ferragens) na zona de ancoragem ou curvas reversas do cabo. Os estouros podem ser causados por outros fatores, incluindo concreto abaixo da resistência ou uma junta fria na zona de ancoragem (veja Figura 14-1).
2. Dependendo da localização e da severidade do estouro, os cabos adjacentes podem ter de ser destracionados antes da remoção do concreto começar. Depois de destracionados, remova o concreto danificado na quantidade necessária para expor qualquer dano na cordoalha e permitir o reajustamento das placas. Em alguns casos, pode ser necessário o uso de luvas de emenda de cordoalhas no reparo (para se acrescentar comprimento ao cabo devido a danos na cordoalha).
3. É importante que a parte de trás da abertura feita no concreto tenha um corte quadrado e perpendicular ao cabo, pois, assim, um escorregamento do concreto durante a reprotensão será evitado.
4. Tenha certeza de que toda a armadura de reforço na zona de ancoragem foi reposicionada e preencha a área a ser reparada com concreto de alta resistência que não retraia. NÃO use graute ou outro material que contenha cloreto.
5. Protenda o cabo somente depois que a pasta de graute atinja a resistência requerida no projeto e depois de aprovado pelo engenheiro responsável.

14.6 RUPTURA DA CORDOALHA (um ou mais fios)

1. A ruptura da cordoalha pode ocorrer em função do desalinhamento das cunhas, da protensão em excesso e/ou dano interno no cabo.
2. A construtora (ou designado) deve ser notificada imediatamente para determinar até que ponto a capacidade estrutural será afetada. E, então, informar ao projetista.
3. O desalinhamento das cunhas ocorre quando elas estão mal ajustadas antes da protensão. As cunhas podem pinçar um ou mais fios devido a diferentes circunstâncias:
 - a. Se a protensão total foi aplicada e as cunhas estiverem prendendo a cordoalha, deixe como está – NÃO tente destracioná-la.
 - b. Se a cordoalha não estiver presa, remova as cunhas, limpe a cavidade da placa de ancoragem, coloque novas cunhas e reprotenda. Se a cordoalha não estiver presa, contate a construtora (ou designado) para ajudá-lo.
4. A protensão em excesso de um cabo pode ocorrer por erro de leitura da medida de pressão ou por uso de macaco e manômetro que estejam fora de calibração ou que não sejam do mesmo conjunto. A cordoalha pode também fraturar ou ser protendida além da carga de escoamento.
 - a. Se a cordoalha romper, o projetista e a firma de protensão determinarão até que ponto a estrutura será afetada e se a reposição é necessária.
 - b. Se as cunhas estão prendendo a cordoalha e a mesma não se romper é preferível deixar o cabo na condição de protendido em excesso. Tentar destracioná-lo pode danificar ou romper o cabo, causar dano à estrutura e ser perigoso para os operários.

5. Danos internos no cabo podem ser causados por dobras indevidas que possam ocorrer ao se desenrolar a cordoalha da bobina, por talhos ou aquecimento da cordoalha devido ao corte com maçarico dos objetos adjacentes antes do lançamento do concreto.
6. Danos podem ser causados após o lançamento do concreto por perfuração, disco de corte ou a força de pinos de fixação disparados dentro do concreto.

14.7 CABOS CURTOS DEMAIS PARA SEREM PROTENDIDOS USANDO O PROCEDIMENTO NORMAL DE PROTENSÃO

1. Os cabos curtos podem resultar de erro de fabricação, erro de colocação ou erro do canteiro de obras, como corte de cabos antes da protensão.
2. A empresa de protensão será capaz de contornar a maioria das situações com equipamentos especiais.
3. Em alguns casos, para protender um cabo muito curto usando um macaco standard, remove-se o nariz do macaco e usa-se o pé do mesmo.
 - a. Quando estiver utilizando o pé do macaco, centralize o macaco com o cabo antes de aplicar a pressão.
 - b. Se o cabo for protendido sem ter sido centrado na placa de ancoragem, ele pode encostar-se a um dos lados da placa e você não poderá inserir uma das partes da cunha. Isto fará com que a outra parte seja puxada de forma inadequada para dentro da cavidade da placa de ancoragem e rompa ou danifique a cordoalha.
 - c. Sem a fixação por cravação hidráulica, as cunhas devem ser inseridas e fixadas manualmente usando uma ferramenta de fixação manual e um martelo especial.
4. Cabos curtos demais (que impossibilitem a aplicação dos procedimentos acima) devem ser protendidos usando uma luva com um pedaço curto de cordoalha fixada em uma das extremidades.
5. Os cabos que são cortados com uma tocha oxiacetilênica perdem algo da têmpera do aço devido ao aquecimento. Se as mandíbulas do macaco ou a luva estão prendendo próximo da área que foi aquecida, o cabo poderá escorregar com uma pressão muito baixa. Se você deparar com uma situação dessas e não tiver outra solução, dê sua primeira puxada tão curta quanto possível (assim, a pressão de protensão é mantida baixa), instale as cunhas na ancoragem e prenda novamente o cabo em outra parte que não foi aquecida.

14.8 EMENDANDO CABOS

1. Os cabos algumas vezes são curtos demais para alcançarem a fôrma de borda em razão de erros de colocação e fabricação.
2. Se o cabo está em uma concretagem e não é contínuo, todo esforço deve ser feito para trocar o cabo curto por um cabo de comprimento adequado ao invés de usar luvas de emenda.
3. Se os cabos são de continuidade de uma outra concretagem, necessitam de emendas e o projetista deve ser notificado.

4. Uma vez que o projetista aprove o uso de emendas, os procedimentos abaixo devem ser seguidos antes da colocação do concreto (Figura 14-2 detalhes de uma luva de emenda típica).
- a. A localização da luva de emenda deve ser determinada pela empresa de protensão contanto que esteja centrada na viga/laje e não fique localizada em um ponto de curvatura do cabo.
 - b. As luvas de emenda não devem ser localizadas lado a lado. Se mais de um cabo necessitar de emenda, as luvas de emenda devem ser espaçadas umas das outras.
 - c. Um tubo de PVC com diâmetro interno e comprimento suficientes para alojar e permitir o movimento da emenda. Também um pedaço adicional de cordoalha com bainha e de comprimento suficiente para alcançar a fôrma de borda é requerido juntamente com as duas fôrmas para nicho.
Graxa de proteção deve ser usada para preencher o vazio no tubo de PVC.
 - d. A extremidade cônica da fôrma para nicho, que normalmente encaixa no interior da cavidade da placa de ancoragem, pode ser cortada quando estiver sendo usada para emendar e reduzir o comprimento do tubo de PVC.
 - e. A cordoalha original é cortada primeiro com uma serra ou disco de corte na região da luva e uma fôrma para nicho é colocada na cordoalha. Marque a cordoalha antes de unir para ter certeza de que um comprimento adequado de cordoalha será inserido por completo dentro da luva. A luva é, então, unida ao comprimento original da cordoalha. O tubo de PVC é colocado sobre a luva.
 - f. A segunda fôrma para nicho é colocada sobre a nova cordoalha (marque a cordoalha) e a cordoalha é inserida dentro da luva de emenda.
 - g. A cordoalha em cada lado da luva necessita ser completamente protendida para uma adequada fixação das cunhas na mesma. Use um macaco standard.
 - h. Uma fôrma para nicho é batida em um dos lados do tubo de PVC, o tubo é embrulhado apertadamente com graxa protetora sem permitir vazios de ar. A segunda fôrma para nicho é afixada ao tubo de PVC completando uma emenda firmemente selada.
 - i. O local da luva de emenda do cabo dentro do tubo de PVC deve permitir que a luva se mova na direção do tracionamento. A permissão para movimentos em ambas as direções deve ser dada quando o cabo é protendido em ambas as extremidades.
 - j. Uma marca com lápis ou uma marca de pintura no assoalho facilitará a localização da luva de emenda depois da concretagem, podendo tornar-se necessária se os procedimentos acima não forem adequadamente seguidos.

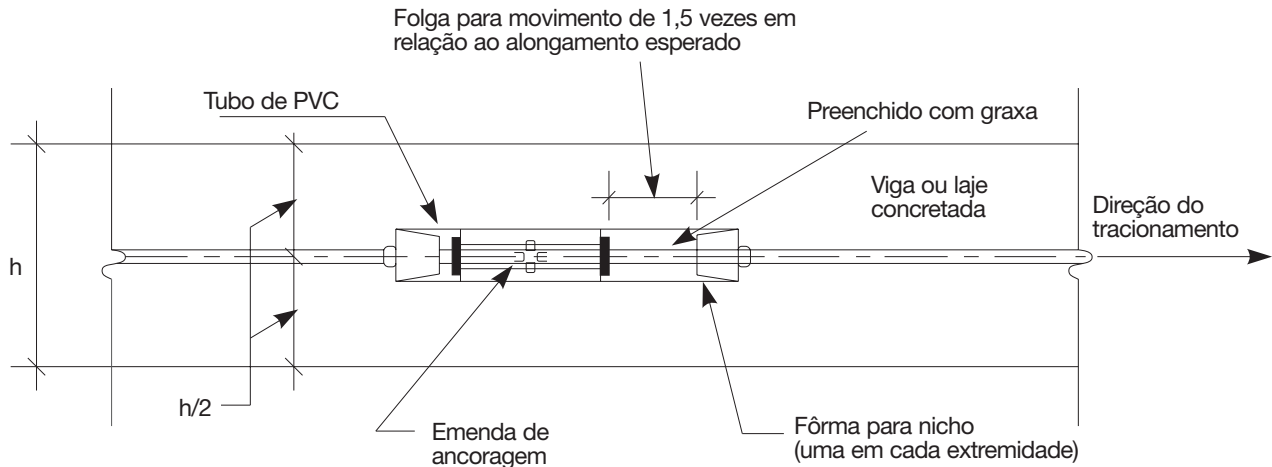


Figura 14-2 Instalação de emenda



Emenda de ancoragem

14.9 CUNHAS FISSURADAS

Traços de fissuras podem aparecer na superfície endurecida das cunhas ao redor da cordoalha no momento da cravação. Estas fissuras não afetam a integridade do sistema de pós-tração (veja Figura 8-1).

14.10 PROCEDIMENTOS PARA VERIFICAÇÃO DA FORÇA NO CABO

A proposta de uma verificação é comprovar se a força de projeto no cabo foi alcançada.

Em certas ocasiões, a situação é que irá requerer uma verificação. Isto pode ocorrer se os alongamentos estiverem fora da tolerância (resultado de qualquer das situações discutidas na Seção 9.3.18). Além disso, em alguns casos, as especificações podem requerer verificações da força no cabo.

Uma verificação é conduzida usando um macaco de protensão standard no cabo especificado para determinar a força no mesmo. A verificação deve ser feita antes do corte das pontas. Entretanto, em alguns casos, pode ser feita depois que as pontas foram cortadas (este é um procedimento especial e deve ser somente efetuado por pessoal qualificado).

Quando o cabo é inicialmente protendido e ancorado, com a cravação das cunhas ocorre uma aderência mecânica entre a placa de ancoragem e as cunhas cravadas dentro da cavidade da referida placa.

Quando a verificação é feita, você terá uma protensão em excesso na ponta do cabo para puxar as cunhas para fora da placa de ancoragem e permitir que a cordoalha fique livre da mesma. Quando isto ocorre, você estará apto a determinar a força no cabo através da leitura da pressão no manômetro. Estas leituras relatam a força atual no cabo.

Para executar a verificação, inicie abrindo o macaco no mínimo 100 mm, pois caso a cunha falhe você não conseguirá desligar o macaco. Então, proceda reprotendendo o cabo como em um ciclo normal de protensão. Em muitos casos, a leitura do manômetro será maior que a leitura da pressão original até quebrar (vencer) a aderência mecânica entre as cunhas e a placa de ancoragem.

Você nunca deve ir além de 85% da força no cabo para executar a verificação (consulte seu fornecedor de equipamento através dos canais adequados sobre estas informações para sua própria proteção). Quando as cunhas se soltam (normalmente um ruído de estalo ocorrerá), a pressão no manômetro cai para uma leitura abaixo daquela que foi necessária para soltá-las. REGISTRE A LEITURA MAIS BAIXA. Protenda o cabo novamente, crave as cunhas e registre qualquer alongamento adicional.

Onde a verificação for requerida, ela deve ser feita tão logo quanto possível. É recomendável a aplicação de um lubrificante penetrante na área da cunha poucas horas antes de dar início aos procedimentos de verificação.

14.11 EQUIPAMENTO PARA REPARO DE CABOS MONOCORDOALHA

Limpeza é a chave para minimizar quebras do equipamento. Areia, barro, sujeira ou objetos estranhos que entram dentro da bomba e/ou do macaco podem causar danos irreversíveis. Quando não estiver sendo usado, o equipamento deve ser armazenado em local limpo e seco, onde a possibilidade de danos é mínima. A seguir, os problemas mais comuns que podem ocorrer com o equipamento de protensão:

1. O macaco está vazando.
 - a. Se o vazamento for ao redor de um terminal, remova-o, limpe bem, use fita teflon ao redor do final da rosca e reaperte.
 - b. Se o macaco estiver vazando internamente, determine onde no macaco o vazamento está originado e encaminhe-o à oficina. Um vazamento interno indica que uma junta deva ser substituída. Isto só pode ser feito por um técnico qualificado.
2. O macaco danificou a cordoalha ou não está prendendo-a.
 - a. Se a ponta do cabo está danificada próximo às mandíbulas do macaco, tudo indica que as mandíbulas não estão alinhadas adequadamente – uma está fixando mais adiante da outra, o que pode beliscar o fio da cordoalha. Vire o macaco de cabeça para baixo e remova as mandíbulas tirando as placas de fixação. Manualmente, realinhe as mandíbulas e recoloque-as no macaco tomando cuidado para que as placas e parafusos sejam adequadamente instalados e apertados.
 - b. Se o macaco não prender a cordoalha, pode ser devido aos dentes das mandíbulas que estejam cheios de graxa e sujos. Remova as mandíbulas seguindo os procedimentos acima e limpe a sujeira usando uma escova de aço e solvente. Recoloque as mandíbulas do macaco depois de aplicar uma boa camada de graxa grafitada. Se as mandíbulas ainda estão falhando ao prender, notifique a empresa de protensão para que seja feita a reposição.

3. Perdas por acomodação da ancoragem maior que 10 mm.
 - a. A causa comum para perda excessiva de cravação é a penetração de pasta de concreto dentro da cavidade da placa de ancoragem, que ocorre quando a fôrma para nicho não foi instalada adequadamente. Se essa perda ocorrer, destracione, limpe a cavidade da placa de ancoragem e retracione conforme descrito na Seção 14.2.
 - b. Se isto não corrigir o problema e se um macaco equipado com pistão de cravação hidráulico estiver sendo usado, vire o macaco de cabeça para baixo, ponha a alavanca da válvula na posição retorno e visualmente observe se o pistão de cravação está sendo corretamente ativado. Com o macaco nesta posição, verifique também a posição do pistão de cravação. Ele deve se estender além do alojamento do nariz do macaco.
 - c. Se o pistão de cravação está com mau funcionamento ou excessivamente gasto e não se estende adequadamente, encaminhe o macaco à oficina.
 - d. Se nenhum dos itens acima corrigir a perda excessiva de cravação, troque o equipamento.
4. A bomba não alcança a pressão de protensão especificada.
 - a. Verifique o óleo no reservatório. A maioria das bombas é capaz de operar adequadamente com até 3,8 litros de óleo mesmo que o reservatório tenha capacidade para 7,6 litros. Se o nível de óleo na bomba for baixo, adicione um fluido hidráulico não espumante e não detergente conforme o especificado pela empresa de protensão.

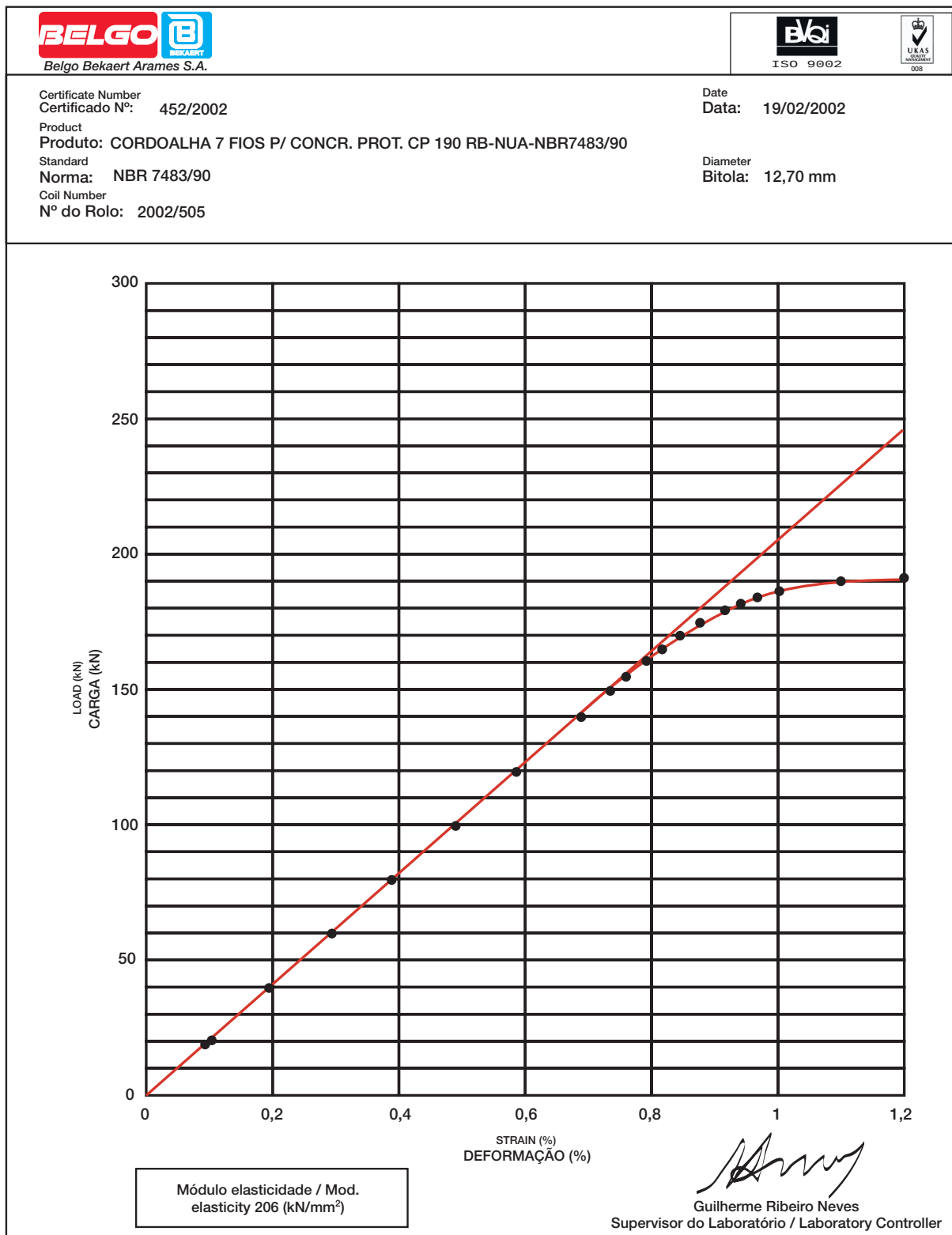
Cuidado

Para permitir a expansão do óleo, deixe livre de 40 a 50 mm da parte superior do reservatório.

- b. O regulador de pressão da bomba pode estar requerendo ajustes. Contate a oficina da empresa de protensão antes de ajustá-lo, pois um pequeno ajuste pode causar um substancial acréscimo ou diminuição de pressão.
5. A bomba está operando muito vagarosamente.
 - a. O problema mais comum é a insuficiência de fornecimento elétrico. Um mínimo de 110 volts e 30 ampères na bomba é requerido para uma operação adequada.
 - b. Os fios não devem ter bitola inferior a 6 mm² e não devem ter mais de 30 m de comprimento. Quanto mais distância você percorre com cabo elétrico, mais voltagem você perderá. Falhas ao fornecer a voltagem e amperagem mínima podem resultar em danos permanentes ou colapso do motor da bomba.
6. Manômetros
 - a. O manômetro não registra. Verifique os terminais para ter certeza de que estão totalmente encaixados e apertados e que as mangueiras estão livres de qualquer bloqueio.
 - b. O manômetro da bomba está preso no ponto zero. Isto pode indicar que o ar atingiu o manômetro. Pressione a bilha do terminal e se o manômetro retornar a zero continue a operação. Caso contrário, notifique a oficina da empresa de protensão para que a substituição seja providenciada.

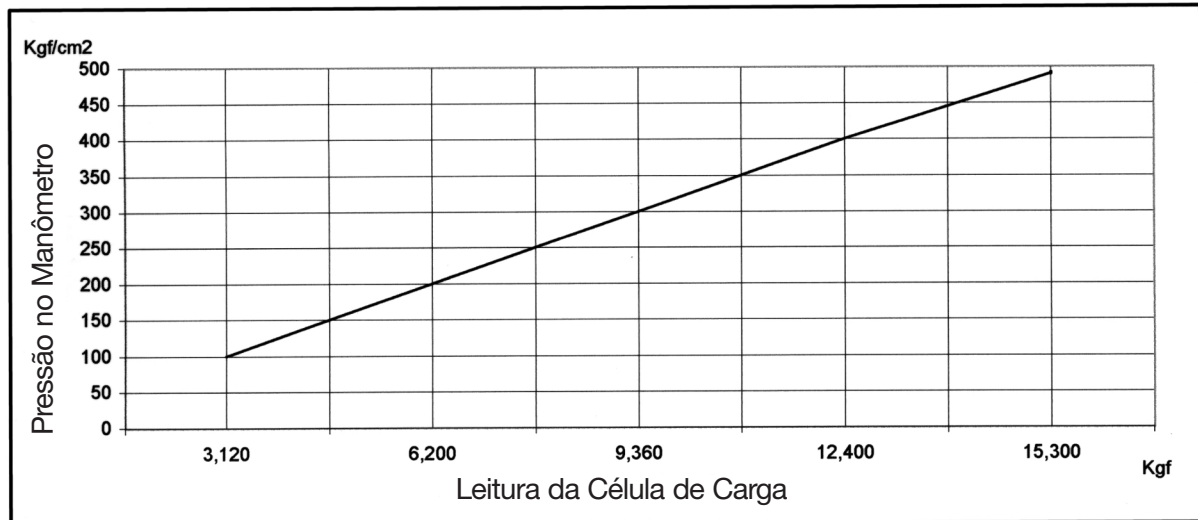
15. APÊNDICE**15.1 EXEMPLO – CERTIFICADO DO AÇO****15.2 EXEMPLO – GRÁFICO / TABELA DE CALIBRAÇÃO DO MACACO****15.3 EXEMPLO – RELATÓRIO DAS OPERAÇÕES DE PROTENSÃO****15.4 EXEMPLO – LISTA DE VERIFICAÇÃO PARA INSPETORES****15.5 REPARO DE CABOS DANIFICADOS EM AMBIENTE AGRESSIVO**

15.1 EXEMPLO – CERTIFICADO DO AÇO



15.2 EXEMPLO - GRÁFICO / TABELA DE CALIBRAÇÃO DO MACACO

Gráfico



Teste 1	
kgf/cm2	Kgf
100	3,120
200	6,200
300	9,360
400	12,400
490	15,300

Teste 2	
kgf/cm2	Kgf
100	3,130
200	6,220
300	9,370
400	12,410
490	15,330

Teste 3	
kgf/cm2	Kgf
100	3,130
200	6,23
300	9,390
400	12,410
490	15,340

Média	
kgf/cm2	Kgf
100	3,120
200	6,210
300	9,370
400	12,400
490	15,320

Macaco N.º: V-835

Manômetro N.º: V-835

Calibrado por: Eduardo G.

Data de calibração: 14/06/2002

Célula de carga: 8067

Data de calibração: 12/07/2001

Certificado de calibração: 432/01

BELGO
Belgo Bekaert Arames S.A.

Pág.:

de:

RELATÓRIO DAS OPERAÇÕES DE PROTENSÃO

[illegible]

Projetista : _____
nome assinat.

15.4 EXEMPLO – LISTA DE VERIFICAÇÃO PARA INSPETORES

1 Controle de Material e Armazenamento

- 1.1 Estão sendo utilizadas alças de nylon para mover os cabos enrolados?
- 1.2 Os cabos engraxados chegaram ao canteiro de obras conforme o projeto e especificações?
- 1.3 Os certificados de qualidade chegaram com o material?
- 1.4 Todo o material de pós-tração está armazenado adequadamente?
- 1.5 Todas as ancoragens têm o orifício tronco-cônico bem regular e sem calombos, para alojamento das cunhas?
- 1.6 As cunhas estão danificadas ou sem dentes? Elas estão livres de ferrugem e farpas?

2 Inspeção antes da Concretagem

- 2.1 Emissão dos Desenhos para Construção – Data : _____ Nº _____
- 2.2 Os relatórios de fabricação dos cabos e os certificados de qualidade estão disponíveis?
- 2.3 Extremidade ativa
 - 2.3.1 O número e o local dos cabos estão corretos (verifique contando as extremidades ativas)?
 - 2.3.2 O comprimento da ponta dos cabos é suficiente para protensão?
 - 2.3.3 Os vergalhões de fretagem e vergalhões auxiliares estão colocados conforme requerido?
 - 2.3.4 As placas de ancoragem do lado ativo estão fixadas seguramente na fôrma de borda com a fôrma para nicho com tamanho apropriado?
 - 2.3.5 A bainha da extremidade ativa está cortada corretamente nas imediações do lado de trás da placa de ancoragem (não mais do que 25 mm de cordoalha exposta ou conforme requerido nos documentos de contrato)?
 - 2.3.6 Existe qualquer conflito com a localização de outros itens embutidos?
 - 2.3.7 As ancoragens se apoiarão sobre um concreto sólido (nunca próximo de conduites, passagens, etc.)?
 - 2.3.8 Há espaço adequado para os equipamentos de protensão?
 - 2.3.9 O espaçamento e a orientação das placas de ancoragem está correto?
 - 2.3.10 O cabo está retilíneo dentro das placas de ancoragem (conforme desenhos de montagem)?
 - 2.3.11 A cordoalha está isenta de corrosão na extremidade passiva?
- 2.4 Extremidades passivas
 - 2.4.1 As ancoragens passivas estão assentadas na posição adequada?
 - 2.4.2 Foi tirada bainha em excesso da extremidade passiva conforme desenhos de montagem?
 - 2.4.3 O tubo de proteção foi colocado na extremidade passiva conforme previsto nos desenhos de montagem?
 - 2.4.4 As cunhas da placa de ancoragem da extremidade passiva estão cravadas adequadamente?
 - 2.4.5 Há qualquer conflito em relação à localização dos itens envolvidos?
 - 2.4.6 As placas de ancoragem ficarão apoiadas em concreto sólido (não próximo de conduites, etc.)?
 - 2.4.7 Os vergalhões de fretagem e vergalhões auxiliares estão colocados conforme o projeto?

- 2.4.8 O sistema encapsulado foi instalado conforme desenho de montagem ou diretrizes do fabricante?
- 2.4.9 Há um cobrimento correto (folga) da ponta do cabo até a fôrma de borda?
- 2.5 Cabos
 - 2.5.1 Qual é a condição do cabo (bainhas intactas, sem dobras, etc.)?
 - 2.5.2 A bainha tem espessura suficiente e uniforme?
 - 2.5.3 A graxa inibidora de corrosão foi aplicada uniformemente e com textura uniforme?
 - 2.5.4 Toda bainha danificada foi reparada corretamente?
 - 2.5.5 Toda bainha danificada que não pôde ser satisfatoriamente reparada foi rejeitada e substituída?
 - 2.5.6 O sistema de apoio está de acordo com os desenhos de montagem?
 - 2.5.7 A curvatura do cabo está suave tanto horizontal quanto verticalmente (sem oscilação excessiva)?
 - 2.5.8 As áreas por onde o cabo passa estão desobstruídas e abertas corretamente (curvatura suave, raios e grampos desde que previstos nos desenhos de montagem)?
 - 2.5.9 Os vergalhões e cadeiras para apoio dos cabos estão amarrados firmemente em todos os locais (assim elas não serão deslocadas no lançamento do concreto)?
 - 2.5.10 Os locais dos cabos estão marcados na fôrma para referência futura (se requerido)?
 - 2.5.11 Algum ponto de arame cortou ou danificou a bainha?
 - 2.5.12 Os pontos altos e baixos dos cabos estão com as cotas corretas?
- 2.6 “Block Outs”, juntas de construção, concretagem e faixas de concretagem posterior.
 - 2.6.1 Há qualquer detalhe de armadura de reforço especial?
 - 2.6.2 Os detalhes dos dentes macho e fêmea das fôrmas estão corretamente montados conforme documentos de contrato?



- 2.6.3 Há folga adequada para o equipamento de protensão?
- 2.6.4 Estão corretas a geometria e o local dos nichos, juntas de construção, a concretagem ou faixas de concretagem posterior?
- 2.7 Condições Especiais
 - 2.7.1 Os detalhes de desprotensão foram aplicados apropriadamente?
 - 2.7.2 Todos os detalhes mostrados nos desenhos (estruturais, cabos de protensão e vergalhões) estão sendo aplicados corretamente?
 - 2.7.3 Todas as projeções de paredes e pilares dentro da laje estão dentro das tolerâncias?
- 2.8 O projetista foi notificado sobre qualquer conflito que requeira modificações?

3 Lançamento do Concreto

- 3.1 O método de lançamento do concreto foi revisto?
- 3.2 A reunião de pré-concretagem ocorreu com outros envolvidos na obra?
- 3.3 As fôrmas foram limpas adequadamente e aplicado desmoldante antes da colocação dos cabos de protensão e vergalhões?
- 3.4 O concreto continha cloreto de cálcio ou misturas que contenham íons clorídricos?
- 3.5 Houve suficiente adensamento do concreto localizado próximo das ancoragens do cabo, que assegure adequada resistência na região de aplicação da força da protensão?
- 3.6 Há cobrimento de concreto suficiente sobre os cabos, de acordo com os desenhos estruturais e dentro das tolerâncias especificadas?
- 3.7 Cuidados durante o lançamento do concreto:
 - 3.7.1 O concreto foi lançado de maneira que assegurasse a permanência do cabo na posição correta?
 - 3.7.2 Lançamento com caminhão betoneira – foi colocado concreto em excesso em um determinado local? A distribuição do concreto foi feita corretamente?
 - 3.7.3 Lançamento por grua – o concreto foi solto da caçamba a uma altura que não deslocasse os cabos?
 - 3.7.4 Lançamento por bombeamento – a mangueira e o bico da bomba foram colocados de corretamente para não provocarem distúrbios no posicionamento dos cabos?
 - 3.7.5 O contato do vibrador com os cabos foi evitado?
- 3.8 O concreto foi lançado depois da conclusão da colocação dos cabos e dos vergalhões?

4 Protensão dos Cabos

Data da Protensão: _____

Protendido por: _____

- 4.1 As fôrmas para nicho foram removidas?
- 4.2 A análise visual do concreto foi efetuada?
- 4.3 Toda a pasta de concreto e matéria estranha foi removida da cavidade da placa de ancoragem?
- 4.4 Os cabos estão perpendiculares às placas de ancoragem?
- 4.5 A sujeira e a graxa foram retiradas das pontas dos cabos da extremidade ativa?
- 4.6 As cunhas foram colocadas uniformemente nas placas de ancoragem ativas?
- 4.7 As cunhas foram fixadas na posição com uma ferramenta de assentamento manual?
- 4.8 As marcas de referência foram pintadas nas pontas dos cabos com um gabarito de dimensão constante a partir da face da laje?
- 4.9 A sequência de protensão foi revisada e aceita pelo engenheiro estrutural?
- 4.10 Os macacos de protensão foram calibrados recentemente?
- 4.11 Em relação aos equipamentos de protensão, verifique:
 - 4.11.1 Há danos e sujeira nos dentes das mandíbulas do macaco?
 - 4.11.2 Está sendo usado cabo de extensão elétrico com menos de 30 m, 6 mm² e com 3 fios?
 - 4.11.3 Há energia elétrica de 110 volts, AC 60 ciclos e 30 ampères?
 - 4.11.4 O manômetro, as mangueiras e conexões estão limpas e bem apertadas?

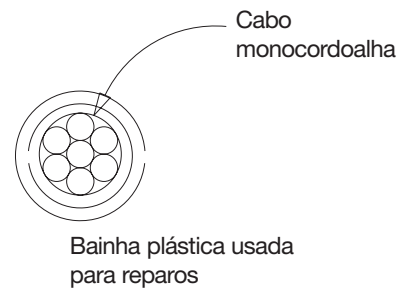
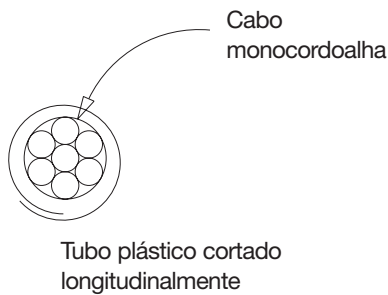
- 4.11.5 O macaco foi estendido e retraído várias vezes para verificar vazamentos e seu correto funcionamento?
- 4.12 Há vazios atrás da placa de ancoragem ou imperfeições visíveis perto da zona de ancoragem?
- 4.13 A protensão começou somente após o concreto ter ganho a resistência requerida?
- 4.14 Foi providenciada uma área de trabalho limpa e adequada para protender os cabos?
- 4.15 Todos os regulamentos de segurança que orientam a aplicação foram seguidos?
- 4.16 Os procedimentos de segurança (Seção 9.5) estão sendo seguidos pelo pessoal da protensão?
- 4.17 Os alongamentos medidos estão sendo registrados nas planilhas de registros de protensão?
- 4.18 Há cuidado para não prender o macaco quando a puxada requerida for mais extensa do que o curso do mesmo?
- 4.19 Os alongamentos medidos estão dentro das variações especificadas nos desenhos de montagem?

5 Acabamento dos Cabos

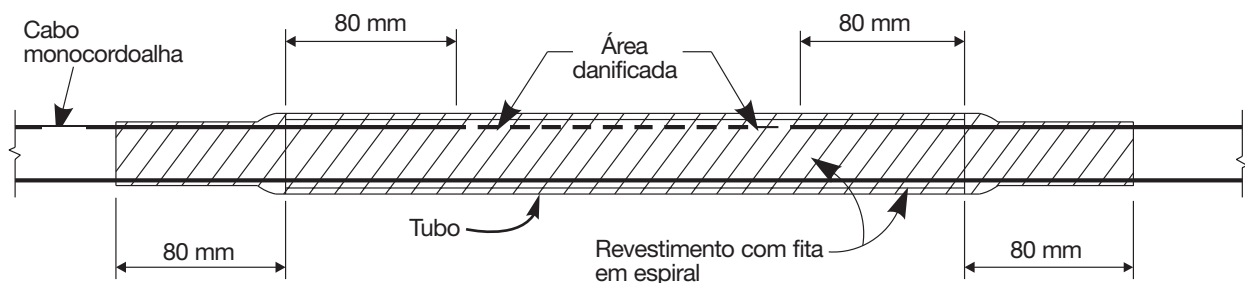
- 5.1 O engenheiro estrutural aprovou os alongamentos medidos?
- 5.2 Após a aprovação dos alongamentos medidos, as pontas dos cabos foram cortadas com a tolerância especificada dentro do nicho de protensão?
- 5.3 As tampas das extremidades ativas estão preenchidas com a quantidade de graxa especificada para os sistemas encapsulados?
- 5.4 As pontas dos cabos foram tampadas dentro do tempo especificado para cabos encapsulados?
- 5.5 O sistema encapsulado da ancoragem da extremidade ativa está instalado de acordo com os desenhos de montagem?
- 5.6 A superfície do nicho a ser grauteada está suficientemente limpa para assegurar aderência do graute?
- 5.7 Foi aplicada pintura anticorrosiva nas superfícies metálicas expostas?
- 5.8 Foi aplicado algum agente de ligação graute/concreto?
- 5.9 As pontas dos pregos e parafusos usados para sustentar as placas de ancoragem foram cortadas junto ao concreto?
- 5.10 Está sendo usado um graute que não retraia para preencher o nicho (livre de cloretos)?
- 5.11 O graute está sendo colocado dentro do nicho de forma que não fique nenhum espaço entre o concreto e o tampo de graute?
- 5.12 O pessoal do canteiro está ciente de que não deve comprometer o sistema encapsulado durante o grauteamento do nicho?
- 5.13 Todos os nichos de protensão foram tampados?

15.5 REPARO DE CABOS DANIFICADOS EM AMBIENTE AGRESSIVO

1. Recoloque graxa protetora na área danificada (se necessário).
2. Coloque um tubo aberto longitudinalmente sobre a área danificada estendendo 10 cm além de cada lado (se o tubo não estiver disponível, uma bainha plástica pode ser usada se dois pedaços forem sobrepostos).



3. Coloque fita adesiva em todo o comprimento da área reparada estendendo 10 cm além do tubo (note que o material usado deve ser de qualidade para permitir que a vedação pelo método de entubagem acima seja impermeável).
4. Uma fita adesiva pode ser usada no lugar do método de entubagem se o material usado puder assegurar uma impermeabilização do cabo.



BIBLIOGRAFIA

- Field Procedures Manual For Unbonded Single Stand Tendons PTI - Post Tensioning Institute - USA
- Construction and Maintenance Procedures Manual for Post - Tensioned Slabs-on-Ground. PTI - Post Tensioning Institute - USA
- Post - Tensioned Concrete Floors - Design Handbook; A.M. Stevenson The Concrete Society - England
- Post - Tensioned Concrete Floors in Multi-Storey Buildings British Cement Association
- Economic Long-Span Concrete Floors. P.W. Matthew and D.F.H. Bennett - British Cement Association
- Post-Tensioning Manual. PTI - Post Tensioning Institute - USA
- Institutional Manual For Training and Certification of Field Personnel for Unbonded Post-Tensioning. PTI - Post Tensioning Institute - USA
- Design and Construction of Post-Tensioned Slabs-on-Ground. PTI - Post Tensioning Institute - USA
- Design fundamentals of Post-Tensioned Concrete Floors. Bijan O. Aalami & Allan Bommer. PTI - Post Tensioning Institute - USA
- Placing Reinforcing Bars. CRSI - Concrete Reinforcing Steel Institute
- Manual of Standard Practice. CRSI - Concrete Reinforcing Steel Institute
- Prestressed Concrete Safety Precautions in Post-Tensioning - Fédération Internationale de La Précontrainte - Commission on Practical Construction
- Em Favor da Leveza - Revista "Técnica" - jan/fev - 1997 - Eugenio Luiz Cauduro