

Segunda edição
30.04.2004

Válida a partir de
31.05.2004

Execução de estruturas de concreto - Procedimento

Execution of concrete structures - Procedure

Palavras-chave: Projeto. Estrutura. Concreto armado. Concreto simples.
Concreto protendido.

*Descriptors: Design. Structural. Plain concrete. Reinforced concrete.
Prestressed concrete. Concrete.*

ICS 91.080.40

© ABNT 2004

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada em qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito pela ABNT.

Sede da ABNT

Av. Treze de Maio, 13 – 28º andar
20003-900 – Rio de Janeiro – RJ
Tel.: + 55 21 3974-2300
Fax: + 55 21 2220-1762
abnt@abnt.org.br
www.abnt.org.br

Impresso no Brasil

Sumário

Página

Prefácio	iv
1 Objetivo	1
2 Referências normativas	1
3 Definições	3
4 Simbologia	3
5 Requisitos gerais	3
5.1 Projeto estrutural e de fundações	3
5.2 Documentação	3
5.2.1 Documentação do projeto	3
5.2.2 Documentação da execução da estrutura de concreto	4
5.3 Requisitos da qualidade dos materiais da estrutura	4
5.3.1 Requisitos da qualidade do concreto	4
5.3.2 Requisitos da qualidade do aço	4
5.4 Responsabilidades	4
6 Canteiro de obra	4
6.1 Generalidades	4
6.2 Recebimento dos materiais	5
6.3 Armazenamento dos materiais	5
6.3.1 Materiais componentes do concreto	5
6.3.2 Aços para as armaduras	5
6.4 Equipamentos	5
6.5 Instalações	5
7 Sistema de fôrmas	5
7.1 Requisitos básicos	5
7.2 Execução do sistema de fôrmas	6
7.2.1 Propriedades dos materiais	6
7.2.2 Projeto	6
7.2.3 Precauções contra incêndios	7
7.2.4 Componentes embutidos nas fôrmas e reduções de seção	8
7.2.5 Aberturas temporárias em fôrmas	8
7.2.6 Fôrmas perdidas (remanescentes dentro da estrutura)	8
7.2.7 Uso de agentes desmoldantes	8
7.3 Remoção de fôrmas e escoramentos	9
8 Armaduras	9
8.1 Armadura passiva	9
8.1.1 Generalidades	9
8.1.2 Materiais	9
8.1.3 Transporte e estocagem	9
8.1.4 Limpeza	9
8.1.5 Preparo e montagem da armadura	10
8.1.6 Proteções	14
8.2 Armadura ativa	14
8.2.1 Generalidades	14
8.2.2 Sistemas de protensão	14
9 Concretagem	14
9.1 Modalidade de preparo do concreto	14

ABNT NBR 14931:2004

9.1.1	Concreto preparado pelo executante da obra.....	14
9.1.2	Concreto preparado por empresa de serviços de concretagem	14
9.2	Cuidados preliminares	15
9.2.1	Fôrmas	15
9.2.2	Escoramentos.....	15
9.2.3	Armaduras.....	16
9.2.4	Tolerâncias.....	16
9.2.5	Condições operacionais na obra	18
9.3	Plano de concretagem	18
9.3.1	Generalidades.....	18
9.3.2	Concretagem em temperatura muito fria.....	19
9.3.3	Concretagem em temperatura muito quente	19
9.4	Transporte do concreto na obra.....	19
9.5	Lançamento	20
9.5.1	Generalidades.....	20
9.5.2	Relação entre lançamento, adensamento e acabamento do concreto	20
9.5.3	Lançamento submerso	21
9.6	Adensamento	21
9.6.1	Generalidades.....	21
9.6.2	Cuidados no adensamento com vibradores de imersão	21
9.7	Juntas de concretagem.....	22
9.8	Acabamento	23
10	Cura e retirada de fôrmas e escoramentos	23
10.1	Cura e cuidados especiais.....	23
10.2	Retiradas das fôrmas e do escoramento.....	23
10.2.1	Generalidades.....	23
10.2.2	Tempo de permanência de escoramentos e fôrmas	24
10.2.3	Precauções	24
11	Recebimento da estrutura de concreto	24
Anexo A	(normativo) Execução da protensão em concreto protendido com aderência posterior	25
A.1	Objetivo	25
A.2	Definições	25
A.3	Requisitos gerais.....	26
A.4	Materiais	26
A.4.1	Aços para armadura de protensão.....	26
A.4.2	Bainhas	27
A.4.3	Ancoragens.....	27
A.5	Confecção dos cabos.....	28
A.6	Montagem dos cabos	28
A.6.1	Instalação dos cabos	28
A.6.2	Dados necessários.....	28
A.6.3	Cuidados na montagem	29
A.7	Concretagem.....	29
A.7.1	Plano de concretagem	29
A.7.2	Cuidados antes da concretagem	29
A.7.3	Cuidados durante a concretagem.....	29
A.7.4	Cuidados após a concretagem.....	30
A.8	Operação de protensão.....	30
A.8.1	Dados necessários.....	30
A.8.2	Plano de protensão.	30
A.8.3	Providências preliminares à protensão.....	31
A.8.4	Cuidados durante a operação de protensão.....	31
A.8.5	Controle da protensão e interpretação desses controles.....	32
Anexo B	(normativo) Execução da injeção de calda de cimento Portland em concreto protendido com aderência posterior	35
B.1	Objetivo	35
B.2	Definições	35
B.3	Requisitos gerais.....	35

B.4	Estudos prévios da calda	36
B.4.1	Programa de injeção	36
B.4.2	Ensaio de laboratório	36
B.4.3	Ensaio de campo	37
B.4.4	Ensaio de injeção em cabos-teste	37
B.5	Fabricação da calda	38
B.5.1	Equipamentos utilizados	38
B.5.2	Mistura dos componentes da calda	39
B.6	Disposições construtivas para facilitar a injeção.....	40
B.6.1	Bainhas	40
B.6.2	Tubos para injeção e respiros.....	40
B.6.3	Cuidados com a concretagem.....	40
B.7	Procedimentos prévios às operações de injeção.....	40
B.7.1	Corte das cordoalhas e vedação das ancoragens.....	40
B.7.2	Lavagem dos cabos e eliminação da água	41
B.8	Operação de injeção.....	41
B.8.1	Condições necessárias.....	41
B.8.2	Injeção	42
B.8.3	Procedimentos para compensar a exsudação da calda	43
B.8.4	Proteção final das ancoragens.....	45
B.9	Registro de dados	45
B.10	Acidentes de injeção	45
Anexo C	(normativo) Execução da protensão em concreto protendido sem aderência	46
C.1	Objetivo	46
C.2	Definições	46
C.3	Requisitos gerais.....	47
C.4	Materiais	47
C.4.1	Aços para armadura de protensão.....	47
C.4.2	Capas PEAD	47
C.4.3	Ancoragens.....	48
C.5	Confecção dos cabos.....	48
C.6	Montagem dos cabos	48
C.6.1	Instalação dos cabos	48
C.6.2	Dados necessários	48
C.8.3	Cuidados na montagem	49
C.7	Concretagem.....	49
C.7.1	Plano de concretagem	49
C.7.2	Cuidados antes da concretagem	49
C.7.3	Cuidados durante a concretagem.....	49
C.7.4	Cuidados após a concretagem.....	50
C.8	Operação de protensão.....	50
C.8.1	Dados necessários	50
C.8.3	Plano de protensão	50
C.8.3	Providências preliminares à protensão	51
C.8.4	Cuidados durante a operação de protensão.....	51
C.8.5	Controle da protensão e interpretação desses controles.....	51

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais Temporárias (ABNT/CEET), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

A ABNT NBR 14931 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Construção Civil (ABNT/CB-02), pela Comissão de Estudo de Execução de Estruturas de Concreto (CE-02:124.16). Seu Projeto circulou em Consulta Pública conforme Edital nº 07, de 31.07.2002, com o número 02:124.16-001. Seu Projeto de Emenda 1 circulou em Consulta Pública conforme Edital nº 09, de 30.09.2003.

A necessidade de elaboração desta Norma deveu-se à mudança de escopo da NBR 6118:2003 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento – com relação ao documento de origem (NBR 6118:1980 – Projeto e execução de estruturas de concreto armado – Procedimento). Estabeleceu-se também a necessidade de revisão da NBR 7187:1987 – Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido – Procedimento e da NBR 8681:1984 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Esta informação tem por finalidade alertar os usuários quanto à conveniência de consultarem as edições atualizadas dos documentos citados.

Esta Norma é baseada nas prENV 13670-1:1999 e ACI 318:1992.

Esta Norma contém os anexos A, B e C, de caráter normativo.

Esta segunda edição incorpora a Emenda 1 de 30.04.2004 e cancela e substitui a edição anterior (ABNT NBR 14931:2003).

Execução de estruturas de concreto - Procedimento

1 Objetivo

1.1 Esta Norma estabelece os requisitos gerais para a execução de estruturas de concreto. Em particular, esta Norma define requisitos detalhados para a execução de obras de concreto, cujos projetos foram elaborados de acordo com a ABNT NBR 6118.

1.2 Esta Norma abrange requisitos para a execução de uma estrutura, conforme definido em projeto.

1.3 Esta Norma se aplica a estruturas de concreto permanentes ou temporárias.

1.4 Esta Norma se aplica à execução de fundação superficial, sapata, "radier", sapata associada, blocos e vigas de fundação, conforme definido em 3.1 a 3.7 e 3.30 da ABNT NBR 6122:1996.

1.5 Esta Norma não estabelece os requisitos para especificação, produção e conformidade do concreto, que devem seguir o que estabelece a ABNT NBR 12655.

1.6 Esta Norma não se aplica à produção de elementos pré-moldados de concreto, que devem ser executados de acordo com a ABNT NBR 9062.

1.7 Esta Norma não cobre os requisitos para a execução de certos elementos de fundações profundas definidos em 3.8 a 3.21 da ABNT NBR 6122:1996.

1.8 Esta Norma não cobre os requisitos para a execução de tirantes injetados que estão normalizados pela ABNT NBR 5629.

1.9 Esta Norma não cobre os requisitos para a execução de paredes-diafragma, de paredes de contenções com o uso de chumbadores ou concreto projetado, bem como não se aplica para a execução de solo grampeado.

1.10 Esta Norma não cobre aspectos da execução relativos à segurança do trabalho e à saúde, estabelecidos em regulamentos governamentais, normas regulamentadoras e na ABNT NBR 12284.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

ABNT NBR 5426:1985 – Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos – Procedimento

ABNT NBR 5629:1996 – Execução de tirantes ancorados no terreno – Procedimento

ABNT NBR 6118:2003 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento

ABNT NBR 6122:1996 – Projeto e execução de fundações – Procedimento

ABNT NBR 6123:1987 – Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento

ABNT NBR 7187:2003 – Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido – Procedimento

ABNT NBR 7190:1997 – Projeto de estruturas de madeira

ABNT NBR 7212:1984 – Execução de concreto dosado em central – Procedimento

ABNT NBR 7480:1996 – Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado – Especificação

ABNT NBR 7481:1990 – Tela de aço soldada – Armadura para concreto – Especificação

ABNT NBR 7482:1991 – Fios de aço para concreto protendido – Especificação

ABNT NBR 7483:1991 – Cordoalhas de aço para concreto protendido – Especificação

ABNT NBR 7681:1983 – Calda de cimento para injeção – Especificação

ABNT NBR 7682:1983 – Calda de cimento para injeção – Determinação do índice de fluidez – Método de ensaio

ABNT NBR 7683:1983 – Calda de cimento para injeção – Determinação dos índices de exsudação e expansão – Método de ensaio

ABNT NBR 7684:1983 – Calda de cimento para injeção – Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio

ABNT NBR 7685:1983 – Calda de cimento para injeção – Determinação da vida útil – Método de ensaio

ABNT NBR 8548:1984 – Barras de aço destinadas a armaduras para concreto armado com emenda mecânica ou por solda – Determinação da resistência à tração – Método de ensaio

ABNT NBR 8800:1986 – Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios (métodos dos estados limites) – Procedimento

ABNT NBR 8965:1985 – Barras de aço CA42 S com características de soldabilidade destinadas a armaduras para concreto armado – Especificação

ABNT NBR 9062: 2001 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado – Procedimento

ABNT NBR 10839:1989 – Execução de obras de arte especiais em concreto armado e concreto protendido – Procedimento

ABNT NBR 11919:1978 – Verificação de emendas metálicas de barras de concreto armado – Método de ensaio

ABNT NBR 12190:2001 – Seleção da impermeabilização

ABNT NBR 12284:1991 – Áreas de vivência em canteiros de obras – Procedimento

ABNT NBR 12654:1992 – Controle tecnológico de materiais componentes do concreto – Procedimento

ABNT NBR 12655:1996 – Concreto – Preparo, controle e recebimento – Procedimento

ABNT NBR NM-ISO 3310-1:1997 – Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação – Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico

NR 18:1998 – Condições e ambiente de trabalho na indústria da construção

3 Definições

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as definições das ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 6122, e as seguintes:

3.1 construtor: Profissional ou entidade responsável pela execução da obra.

3.2 execução da estrutura de concreto: Todas as atividades desenvolvidas na execução das estruturas de concreto, ou seja, sistema de fôrmas, armaduras, concretagem, cura e outras, bem como as relativas à inspeção e documentação de como construído, incluindo a análise do controle de resistência do concreto.

3.3 inspeção e fiscalização: Atividades desenvolvidas para verificar se a execução está de acordo com as especificações do projeto e desta Norma.

3.4 documentação para procedimentos de execução: Documentação descrevendo os métodos e procedimentos usados para execução da estrutura de concreto.

3.5 tolerâncias: Limite de diferença entre dimensões especificadas ou de projeto e dimensões executadas (ver 9.2.4).

3.6 elemento pré-moldado de concreto: Produto de concreto moldado e curado em local que não aquele de uso final, de acordo com a ABNT NBR 9062, não objeto desta Norma.

3.7 especificações de projeto: Documentos que estabelecem dados técnicos e requisitos para um projeto em particular, preparados para complementar e qualificar os requisitos desta Norma.

3.8 acabamento da superfície: Descrição da aparência da superfície de concreto, incluindo aspectos de geometria, textura, cor, entre outros.

3.9 estrutura temporária: Estrutura projetada para um curto período de utilização, definido em projeto.

4 Simbologia

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se os símbolos estabelecidos na ABNT NBR 6118.

5 Requisitos gerais

5.1 Projeto estrutural e de fundações

A execução da estrutura de concreto deve ser baseada em projetos de estruturas e de fundações, elaborados de acordo com o que estabelecem as Normas Brasileiras (por exemplo, ABNT NBR 6118, ABNT NBR 6122, ABNT NBR 7187 e outras).

5.2 Documentação

5.2.1 Documentação do projeto

Nas especificações de projeto devem ser apresentadas todas as informações necessárias e todos os requisitos técnicos para a execução da estrutura de concreto, conforme estabelece a seção 5 da ABNT NBR 6118:2003.

As especificações de projeto devem considerar e fazer referência a normas nacionais e requisitos específicos do local da obra, com respeito a todos os aspectos inerentes à construção, como: instalações contra incêndios, impermeabilizações (ABNT NBR 12190), ações sobre a estrutura (como o vento, ABNT NBR 6123), segurança, condição ambiental, e outros.

Antes do início da execução de qualquer parte da estrutura de concreto, as especificações de projeto relativas a essa parte devem estar completas e disponíveis.

5.2.2 Documentação da execução da estrutura de concreto

5.2.2.1 Documentação de “Como Construído”

A documentação dos procedimentos de execução deve estabelecer todos os requisitos para distribuição, arquivo e registro de documentos técnicos usados na obra.

Quando for exigida documentação relativa à execução da estrutura de concreto, o tipo e a abrangência dessa documentação devem ser estabelecidos entre as partes.

5.2.2.2 Documentação da qualidade

Quando for exigido, deve ser estabelecido um plano da qualidade para a execução da estrutura de concreto, sendo elaborado pelo projetista em comum acordo com o proprietário da obra. Neste caso, o plano de garantia da qualidade deve estar de acordo com a ABNT NBR 6118.

Se um procedimento de controle da qualidade for exigido pela especificação de projeto, ele deve estar disponível no local da obra.

5.3 Requisitos da qualidade dos materiais da estrutura

5.3.1 Requisitos da qualidade do concreto

O concreto deve ser preparado e atender aos critérios de controle da qualidade previstos na ABNT NBR 12655.

Quando se tratar de concreto dosado em central, além dos requisitos da ABNT NBR 12655, o concreto deve ainda estar de acordo com o que estabelece a ABNT NBR 7212.

No controle da qualidade dos materiais componentes do concreto deve ser obedecido o disposto na ABNT NBR 12654.

5.3.2 Requisitos da qualidade do aço

O aço utilizado na estrutura de concreto deve atender às ABNT NBR 7480, ABNT NBR 7481, ABNT NBR 7482 e ABNT NBR 7483, segundo a natureza e tipo de armadura.

5.4 Responsabilidades

Devem ser seguidas as atribuições de responsabilidades estabelecidas na ABNT NBR 12655.

6 Canteiro de obra

6.1 Generalidades

O espaço destinado ao canteiro da obra deve estar de acordo com as características da construção a ser realizada, sendo previsto o correto armazenamento de materiais e equipamentos, bem como as instalações necessárias para escritórios e dependências para a permanência de operários durante a execução da obra, de acordo com as normas de segurança (NR 18) e de canteiro (ABNT NBR 12284).

6.2 Recebimento dos materiais

Todos os materiais empregados na execução da estrutura de concreto devem ser recebidos conforme estabelecem as normas relacionadas em 5.3. Materiais não previstos nesse item devem seguir as especificações pertinentes em cada caso.

6.3 Armazenamento dos materiais

Os materiais a serem utilizados devem permanecer armazenados na obra ou na central de dosagem, separados fisicamente desde o instante do recebimento até o momento de utilização. Cada material deve estar perfeitamente identificado durante o armazenamento, no que diz respeito à classe, à graduação e, quando for o caso, à procedência. Os documentos que comprovam a origem, as características e a qualidade dos materiais devem permanecer arquivados, conforme legislação vigente.

6.3.1 Materiais componentes do concreto

Quando o concreto for preparado na obra, o armazenamento dos materiais que o compõem deve estar conforme com o que estabelece a ABNT NBR 12655.

6.3.2 Aços para as armaduras

Devem ser estocados de forma a manterem inalteradas suas características geométricas e suas propriedades, desde o recebimento na obra até seu posicionamento final na estrutura.

Cada tipo e classe de barra, tela soldada, fio ou cordoalha utilizado na obra deve ser claramente identificado logo após seu recebimento, de modo que não ocorra troca involuntária quando de seu posicionamento na estrutura.

Para os aços recebidos cortados e dobrados, valem as mesmas prescrições para as diferentes posições.

A estocagem deve ser feita de modo a impedir o contato com qualquer tipo de contaminante (solo, óleos, graxas, entre outros).

6.4 Equipamentos

Os equipamentos necessários à execução dos serviços previstos, inclusive equipamentos de segurança, devem estar disponíveis na obra, em condições de trabalho, de acordo com as especificações do fabricante e normas vigentes.

6.5 Instalações

Devem estar de acordo com a NR 18.

7 Sistema de fôrmas

7.1 Requisitos básicos

O sistema de fôrmas, que compreende as fôrmas, o escoramento, o cimbramento e os andaimes, incluindo seus apoios, bem como as uniões entre os diversos elementos, deve ser projetado e construído de modo a ter:

- a) resistência às ações a que possa ser submetido durante o processo de construção, considerando:
 - ação de fatores ambientais;
 - carga da estrutura auxiliar;

- carga das partes da estrutura permanente a serem suportadas pela estrutura auxiliar até que o concreto atinja as características estabelecidas pelo responsável pelo projeto estrutural para remoção do escoramento;
 - efeitos dinâmicos acidentais produzidos pelo lançamento e adensamento do concreto, em especial o efeito do adensamento sobre o empuxo do concreto nas fôrmas, respeitados os limites estabelecidos em 9.5 e 9.6;
 - no caso de concreto protendido, resistência adequada à redistribuição de cargas originadas durante a protensão;
- b) rigidez suficiente para assegurar que as tolerâncias especificadas para a estrutura em 9.2.4 e nas especificações do projeto (ver 5.2.1) sejam satisfeitas e a integridade dos elementos estruturais não seja afetada.

O formato, a função, a aparência e a durabilidade de uma estrutura de concreto permanente não devem ser prejudicados devido a qualquer problema com as fôrmas, o escoramento ou sua remoção.

No plano da obra deve constar a descrição do método a ser seguido para construir e remover estruturas auxiliares, devendo ser especificados os requisitos para manuseio, ajuste, contraflecha intencional, desforma e remoção. A retirada de fôrmas e escoramentos deve ser executada de modo a respeitar o comportamento da estrutura em serviço. No caso de dúvidas quanto ao modo de funcionamento de uma estrutura específica, o engenheiro responsável pela execução da obra deve entrar em contato com o projetista, a fim de obter esclarecimento sobre a seqüência correta para retirada das fôrmas e do escoramento.

7.2 Execução do sistema de fôrmas

7.2.1 Propriedades dos materiais

O material utilizado deve atender aos requisitos de 7.1 e às normas do produto.

O uso adequado possibilita o reaproveitamento de fôrmas e dos materiais utilizados para sua construção. No entanto, em um processo de utilização sucessiva, devem ser verificadas as características e principalmente a capacidade resistente da fôrma e do material que a constitui.

7.2.2 Projeto

7.2.2.1 Generalidades

O sistema de fôrmas deve ser projetado e construído obedecendo a 7.1 e às prescrições das ABNT NBR 7190 e ABNT NBR 8800, respectivamente, quando se tratar de estruturas de madeira ou metálicas.

As contraflechas estabelecidas no projeto estrutural devem ser obedecidas na execução.

Quando da execução do sistema de fôrmas deve-se prever a retirada de seus diversos elementos separadamente, se necessário.

7.2.2.2 Escoramento

O escoramento deve ser projetado de modo a não sofrer, sob a ação de seu próprio peso, do peso da estrutura e das cargas acidentais que possam atuar durante a execução da estrutura de concreto, deformações prejudiciais ao formato da estrutura ou que possam causar esforços não previstos no concreto.

No projeto do escoramento devem ser consideradas a deformação e a flambagem dos materiais e as vibrações a que o escoramento estará sujeito.

Quando de sua construção, o escoramento deve ser apoiado sobre cunhas, caixas de areia ou outros dispositivos apropriados a facilitar a remoção das fôrmas, de maneira a não submeter a estrutura a impactos, sobrecargas ou outros danos.

Devem ser tomadas as precauções necessárias para evitar recalques prejudiciais provocados no solo ou na parte da estrutura que suporta o escoramento, pelas cargas por este transmitidas, prevenindo-se o uso de lastro, piso de concreto ou pranchões para correção de irregularidades e melhor distribuição de cargas, assim como cunhas para ajuste de níveis.

No caso do emprego de escoramento metálico, devem ser seguidas as instruções do fornecedor responsável pelo sistema.

Os planos de desforma e escoramentos remanescentes devem levar em conta os materiais utilizados associados ao ritmo de construção, tendo em vista o carregamento decorrente e a capacidade suporte das lajes anteriores, quando for o caso.

A colocação de novas escoras em posições preestabelecidas e a retirada dos elementos de um primeiro plano de escoramento podem reduzir os efeitos do carregamento inicial, do carregamento subsequente e evitar deformações excessivas.

Neste caso devem ser considerados os seguintes aspectos:

- nenhuma carga deve ser imposta e nenhum escoramento removido de qualquer parte da estrutura enquanto não houver certeza de que os elementos estruturais e o novo sistema de escoramento têm resistência suficiente para suportar com segurança as ações a que estarão sujeitos;
- nenhuma ação adicional, não prevista nas especificações de projeto ou na programação da execução da estrutura de concreto, deve ser imposta à estrutura ou ao sistema de escoramento sem que se comprove que o conjunto têm resistência suficiente para suportar com segurança as ações a que estará sujeito;
- a análise estrutural e os dados de deformabilidade e resistência do concreto usados no planejamento para a reestruturação do escoramento devem ser fornecidos pelo responsável pelo projeto estrutural ou pelo responsável pela obra, conforme acordado entre as partes;
- a verificação de que a estrutura de concreto suporta as ações previstas, considerando a capacidade de suporte do sistema de escoramento e os dados de resistência e deformabilidade do concreto.

7.2.2.3 Fôrmas

As fôrmas devem adaptar-se ao formato e às dimensões das peças da estrutura projetada, respeitadas as tolerâncias de 9.2.4, caso o plano da obra, em virtude de circunstâncias especiais, não as exija mais rigorosas.

A fôrma deve ser suficientemente estanque, de modo a impedir a perda de pasta de cimento, admitindo-se como limite a surgência do agregado miúdo da superfície do concreto.

Os elementos estruturantes das fôrmas devem ser dispostos de modo a manter o formato e a posição da fôrma durante toda sua utilização.

Durante a concretagem de elementos estruturais de grande vão deve haver monitoramento e correção de deslocamentos do sistema de fôrmas não previstos nos projetos.

7.2.3 Precauções contra incêndios

Devem ser tomadas as devidas precauções para proteger o sistema de fôrmas de riscos de incêndio, observando a NR 18.

7.2.4 Componentes embutidos nas fôrmas e reduções de seção

A concentração de componentes e furos em uma determinada região da estrutura deve ser objeto de verificação pelo projetista.

Elementos estruturantes das fôrmas, barras, tubulações e similares, com as funções estabelecidas em projeto, além de insertos ou pinos de ancoragem, podem ser colocados dentro da seção, devendo:

- ser fixados para assegurar o posicionamento durante a concretagem;
- não alterar as características estruturais da peça;
- não reagir de maneira nociva ou prejudicial com os componentes do concreto, em especial o cimento Portland, ou com as armaduras;
- não provocar manchas na superfície de concreto aparente;
- não prejudicar o desempenho funcional e a durabilidade do elemento estrutural;
- permitir que as operações de lançamento e adensamento do concreto fresco sejam feitas de maneira adequada.

Qualquer componente embutido deve preservar o formato durante a operação de concretagem e resistir a contaminações que possam afetar sua integridade, a do concreto ou a da armadura. No caso de ser metálico deve-se prever proteção contra corrosão.

7.2.5 Aberturas temporárias em fôrmas

Aberturas e orifícios usados para trabalhos temporários devem ser preenchidos e acabados com um material de qualidade similar à do concreto da estrutura.

7.2.6 Fôrmas perdidas (remanescentes dentro da estrutura)

Recomenda-se evitar o uso de fôrmas perdidas. Nos casos em que, após a concretagem da estrutura ou de um determinado elemento estrutural, não for feita a retirada da forma ou parte dela, essa condição deve ser previamente estabelecida em projeto e devem ser verificadas:

- a durabilidade do material componente da fôrma (em se tratando de madeira, verificar se está imunizada contra cupins, fungos e insetos em geral);
- a compatibilidade desse material com o concreto;
- a estabilidade estrutural do elemento contendo a fôrma perdida;
- a correta ancoragem da fôrma perdida.

7.2.7 Uso de agentes desmoldantes

Quando agentes destinados a facilitar a desmoldagem forem necessários, devem ser aplicados exclusivamente na fôrma antes da colocação da armadura e de maneira a não prejudicar a superfície do concreto.

Agentes desmoldantes devem ser aplicados de acordo com as especificações do fabricante e normas nacionais, devendo ser evitados o excesso ou a falta do desmoldante.

Salvo condição específica, os produtos utilizados não devem deixar resíduos na superfície do concreto ou acarretar algum efeito que cause:

- alteração na qualidade da superfície ou, no caso de concreto aparente, resulte em alteração de cor;
- prejuízo da aderência do revestimento a ser aplicado.

7.3 Remoção de fôrmas e escoramentos

Aplica-se o disposto em 10.2.

8 Armaduras

Em nenhum caso deve ser empregado na estrutura de concreto aço de qualidade diferente da especificada no projeto, sem aprovação prévia do projetista.

Cada produto deve ser claramente identificado na obra, de maneira a evitar trocas involuntárias.

O processo de ancoragem dos componentes de armaduras por aderência ou por meio de dispositivos mecânicos deve seguir o que estabelece o projeto da estrutura.

8.1 Armadura passiva

8.1.1 Generalidades

As condições estabelecidas nesta seção são válidas para armaduras preparadas no local ou pré-fabricada.

8.1.2 Materiais

A ABNT NBR 7480 estabelece as características do aço a ser utilizado nas armaduras passivas de concreto. A ABNT NBR 6118 define as condições de utilização desse material em cada caso.

Nos casos onde haja exigência de utilização de aço com características especiais de resistência à fadiga, a encomenda ou pedido de compra do aço deve ser feita diretamente ao produtor, mencionando esta exigência.

8.1.3 Transporte e estocagem

Barras de aço para construção, telas soldadas e armaduras pré-fabricadas não devem ser danificadas durante as operações de transporte, estocagem, limpeza, manuseio e posicionamento no elemento estrutural.

Cada produto deve ser claramente identificável na obra, de maneira a evitar trocas involuntárias, e os produtos não podem ser estocados em contato direto com o solo.

8.1.4 Limpeza

A superfície da armadura deve estar livre de ferrugem e substâncias deletérias que possam afetar de maneira adversa o aço, o concreto ou a aderência entre esses materiais. Armaduras que apresentem produtos destacáveis na sua superfície em função de processo de corrosão devem passar por limpeza superficial antes do lançamento do concreto.

Após limpeza deve ser feita uma avaliação das condições da armadura, em especial de eventuais reduções de seção.

Armaduras levemente oxidadas por exposição ao tempo em ambientes de agressividade fraca a moderada, por períodos de até três meses, sem produtos destacáveis e sem redução de seção, podem ser empregadas em estruturas de concreto.

Caso a armadura apresente nível de oxidação que implique redução da seção, deve ser feita uma limpeza enérgica e posterior avaliação das condições de utilização, de acordo com as normas de especificação do produto, eventualmente considerando-a como de diâmetro nominal inferior. No caso de corrosão por ação e presença de cloretos, com formação de “pites” ou cavidades, a armadura deve ser lavada com jato de água sob pressão para retirada do sal e dos cloretos dessas pequenas cavidades.

NOTA A limpeza pode ser feita por qualquer processo mecânico como, por exemplo, jateamento de areia ou jato de água.

8.1.5 Preparo e montagem da armadura

Os processos para preparo e montagem da armadura passiva devem atender ao que estabelece o projeto da estrutura e a ABNT NBR 6118.

8.1.5.1 Desbobinamento

O desbobinamento de barras somente deve ser feito quando for utilizado equipamento que limite tensões localizadas.

8.1.5.2 Corte

O corte das barras da armadura deve atender às indicações do projeto da estrutura, observadas as respectivas tolerâncias (ver 9.2.4).

8.1.5.3 Dobramento

O dobramento das barras, inclusive ganchos, deve ser feito respeitando os diâmetros internos de curvatura da tabela 1.

As barras de aço devem ser sempre dobradas a frio.

As barras não devem ser dobradas junto às emendas por solda, observando-se uma distância mínima de 10 ϕ .

Tabela 1 — Diâmetro dos pinos de dobramento

Bitola mm	Tipo de aço		
	CA-25	CA-50	CA-60
$\phi \leq 10$	3 ϕ	3 ϕ	3 ϕ
$10 < \phi < 20$	4 ϕ	5 ϕ	-
$\phi \geq 20$	5 ϕ	8 ϕ	-

8.1.5.4 Emendas

8.1.5.4.1 Tipos de emendas

As emendas devem ser feitas de acordo com o previsto no projeto estrutural, podendo ser executadas emendas:

- a) por traspasse;
- b) por luva com preenchimento metálico, prensadas ou rosqueadas;
- c) por solda;
- d) por outros dispositivos devidamente justificados.

As emendas de barras devem estar de acordo com o que estabelece a seção 9 da ABNT NBR 6118:2003. As emendas não previstas no projeto só podem ser localizadas e executadas mediante consulta prévia ao projetista.

8.1.5.4.2 Emendas por traspasse

Todas as disposições a serem seguidas constam na ABNT NBR 6118.

8.1.5.4.3 Emendas por luvas

As luvas devem ter resistência maior que as barras emendadas.

8.1.5.4.4 Emendas com solda

Apenas podem ser emendadas por solda barras de aço com características de soldabilidade. Para que um aço seja considerado soldável, sua composição deve obedecer aos limites estabelecidos na ABNT NBR 8965.

As emendas por solda podem ser:

- de topo, por caldeamento, para bitola não menor que 10 mm;
- de topo, com eletrodo, para bitola não menor que 20 mm;
- por traspasse com pelo menos dois cordões de solda longitudinais, cada um deles com comprimento não inferior a 5ϕ afastados no mínimo 5ϕ (ver figura 1);
- com outras barras justapostas (cobrejuntas), com cordões de solda longitudinais, fazendo-se coincidir o eixo baricêntrico do conjunto com o eixo longitudinal das barras emendadas, devendo cada cordão ter comprimento de pelo menos 5ϕ (ver figura 1).

As emendas por solda podem ser realizadas na totalidade das barras em uma seção transversal do elemento estrutural.

Devem ser consideradas como na mesma seção as emendas que de centro a centro estejam afastadas entre si menos que 15ϕ medidos na direção do eixo da barra.

A resistência de cada barra emendada deve ser considerada sem redução.

Em caso de barra tracionada e havendo preponderância de carga acidental, a resistência deve ser reduzida em 20%.

As máquinas soldadoras devem ter características elétricas e mecânicas apropriadas à qualidade do aço e à bitola da barra, e devem ser de regulagem automática. A solda deve ser realizada por pessoal capacitado.

A eficiência do processo de soldagem, a qualificação do soldador e a qualidade do equipamento utilizado devem ser comprovadas experimentalmente, para barras de qualquer categoria, antes de serem empregadas na obra.

Nas emendas por pressão as extremidades das barras devem ser planas e normais aos eixos. Nas emendas por solda com eletrodo as extremidades devem ser chanfradas. Em todos os casos as superfícies a serem emendadas devem ser rigorosamente limpas.

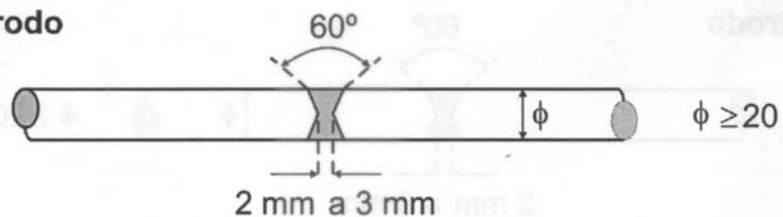
Devem ser realizados ensaios prévios, nas mesmas condições em que serão realizadas as operações de soldagem na obra, ou seja, empregando os mesmos processo, equipamento, material e pessoal. Devem ainda ser realizados ensaios posteriores para controle, de acordo com o que estabelece a ABNT NBR 11919 e verificadas as condições de aceitação da solda. No caso de contratação de empresas fornecedoras

comprovadamente especializadas, pode-se, a critério do contratante, prescindir dos ensaios prévios mediante a apresentação da qualificação válida do executor do serviço.

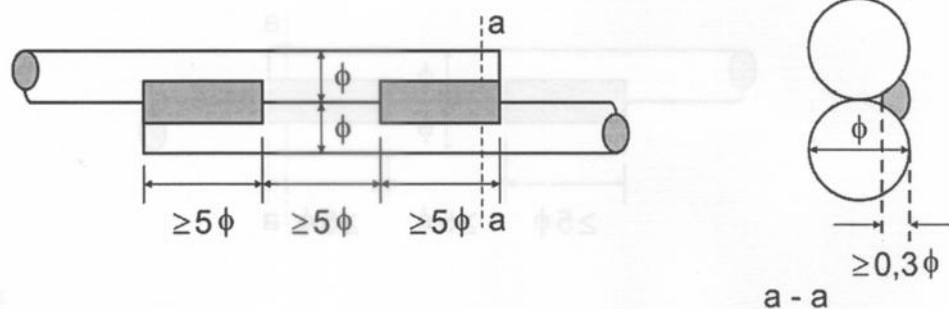
de topo por caldeamento



de topo com eletrodo



por traspasse



com barras justapostas

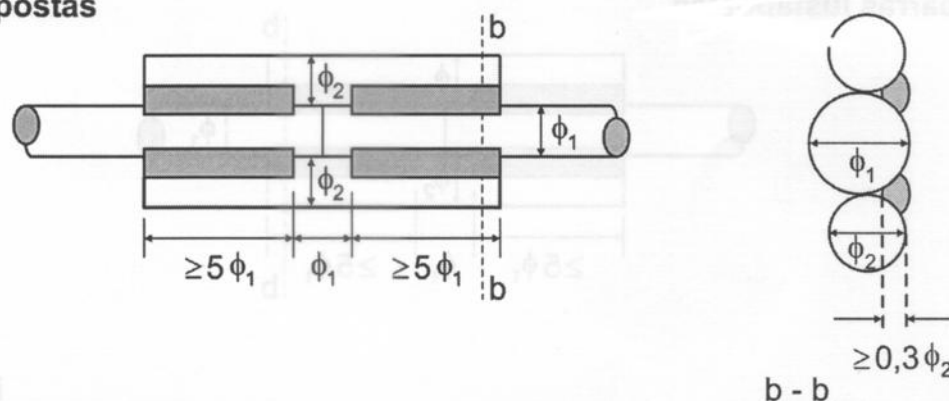


Figura 1 — Emendas por solda

8.1.5.4.5 Requisitos de propriedades mecânicas de tração de barras emendadas

As emendas das barras feitas mecanicamente ou por solda devem satisfazer previamente o limite de resistência convencional à ruptura das barras não emendadas, conforme ABNT NBR 7480. No ensaio de qualificação, o alongamento da barra emendada deve atender a um mínimo de 2%.

Se qualquer resultado obtido nos ensaios, com os corpos-de-prova emendados (ver 8.1.5.4.6) ou não emendados, não satisfizer o limite acima fixado e as especificações, deve ser verificada a causa da deficiência e devidamente corrigida, sendo repetidos os ensaios prévios.

8.1.5.4.6 Critérios de aceitação de emendas de barras

O critério adotado nesta Norma para a aceitação de emendas de barras de aço está baseado no que estabelece a ABNT NBR 5426, com nível de qualidade aceitável (NQA) igual a 4% e nível de inspeção II. Em função do tamanho do lote previsto, aplica-se o nível S_3 , com a amostragem definida a seguir:

a) para lotes de até 150 unidades:

— amostragem simples com $N = 5$; $Ac = 0$ e $Re = 1$;

b) para lotes de 151 até 3 200 unidades:

— amostragem simples com $N = 13$; $Ac = 1$ e $Re = 2$;

— amostragem dupla com $N = 8 + 8$; $Ac_1 = 0$; $Re_1 = 2$; $Ac_2 = 1$; $Re_2 \geq 2$.

onde:

N é o número de amostras ensaiadas do lote;

Ac é o número de aceitação, ou seja, a quantidade de unidades defeituosas que podem ocorrer no lote sem que este seja rejeitado;

Re é o número de rejeição, ou seja, a quantidade de unidades defeituosas que rejeitam o lote.

No caso da amostragem dupla, como estabelece a ABNT NBR 5426, o lote pode ser aceito apenas ensaiando a primeira amostra, se cumpridas as exigências relativas à quantidade de unidades defeituosas (Ac_1 e Re_1). Se essa condição não for satisfeita, deve ser ensaiada a segunda amostra e serem satisfeitas as exigências de Ac_2 e Re_2 .

8.1.5.5 Montagem e posicionamento da armadura

A armadura deve ser posicionada e fixada no interior das fôrmas de acordo com as especificações de projeto, com as tolerâncias estabelecidas em 9.2.4, caso o projeto da estrutura, em virtude de circunstâncias especiais, não as exija mais rigorosas, de modo que durante o lançamento do concreto se mantenha na posição estabelecida, conservando-se inalteradas as distâncias das barras entre si e com relação às faces internas das fôrmas.

A montagem da armadura deve ser feita por amarração, utilizando arames. No caso de aços soldáveis, a montagem pode ser feita por pontos de solda. A distância entre pontos de amarração das barras das lajes deve ter afastamento máximo de 35 cm.

O cobrimento especificado para a armadura no projeto deve ser mantido por dispositivos adequados ou espaçadores e sempre se refere à armadura mais exposta. É permitido o uso de espaçadores de concreto ou argamassa, desde que apresente relação água/cimento menor ou igual a 0,5, e espaçadores plásticos, ou metálicos com as partes em contato com a fôrma revestidas com material plástico ou outro material similar. Não devem ser utilizados calços de aço cujo cobrimento, depois de lançado o concreto, tenha espessura menor do que o especificado no projeto.

Podem ser utilizados outros tipos de espaçadores não descritos nesta Norma, desde que não tenham partes metálicas expostas.

NOTAS

- 1 O posicionamento das armaduras negativas deve ser objeto de cuidados especiais em relação à posição vertical. Para tanto, devem ser utilizados suportes rígidos e suficientemente espaçados para garantir o seu posicionamento.
- 2 Deve ser dada atenção à armadura e ao cobrimento onde existam orifícios de pequenas dimensões (ver 7.2.5).

8.1.6 Proteções

8.1.6.1 Proteção durante a execução

Antes e durante o lançamento do concreto, os caminhos e passarelas devem estar dispostos de modo a não acarretarem deslocamento da armadura.

8.1.6.2 Barras de espera

Caso a concretagem seja interrompida por mais de 90 dias, as barras de espera devem ser pintadas com pasta de cimento para proteção contra a corrosão. Ao ser retomada a concretagem as barras de espera devem ser limpas (8.1.4), de modo a permitir boa aderência com o concreto.

8.2 Armadura ativa

8.2.1 Generalidades

Todo o trabalho deve ser orientado e acompanhado por pessoal especializado.

Documentos definidos na especificação de projeto devem ser incluídos na documentação da obra (ver 5.2).

8.2.2 Sistemas de protensão

Os sistemas de protensão a serem utilizados devem estar de acordo com o que estabelecem os anexos A e C e as normas pertinentes em cada caso (ABNT NBR 6118, ABNT NBR 7187, ABNT NBR 10839 ou outras).

9 Concretagem

9.1 Modalidade de preparo do concreto

Para o concreto destinado às estruturas, são previstas duas modalidades diferentes de preparo, descritas a seguir.

9.1.1 Concreto preparado pelo executante da obra

As etapas de preparo são realizadas pelo executante da obra, de acordo com o que estabelece a ABNT NBR 12655.

9.1.2 Concreto preparado por empresa de serviços de concretagem

A central deve assumir a responsabilidade pelo serviço e cumprir as prescrições relativas às etapas de preparo do concreto (ver ABNT NBR 12655), bem como as disposições da ABNT NBR 7212. A documentação relativa ao cumprimento destas prescrições e disposições deve ser disponibilizada para o responsável pela obra e arquivada na empresa de serviços de concretagem, sendo preservada durante o prazo previsto na legislação vigente.

9.1.2.1 Especificação do concreto

A especificação do concreto deve levar em consideração todas as propriedades requeridas em projeto, em especial quanto à resistência característica, ao módulo de elasticidade do concreto e à durabilidade da estrutura, bem como às condições eventualmente necessárias em função do método de preparo escolhido e das condições de lançamento, adensamento e cura.

9.1.2.1.1 Especificação pela resistência característica do concreto à compressão

O concreto é solicitado especificando-se a resistência característica do concreto à compressão na idade de controle, conforme a ABNT NBR 12655, a dimensão máxima característica do agregado graúdo e o abatimento do concreto fresco no momento de entrega, de acordo com a ABNT NBR 7212.

9.1.2.1.2 Especificação pelo consumo de cimento

O concreto é solicitado especificando-se o consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto, a dimensão máxima característica do agregado graúdo e o abatimento do concreto fresco no momento da entrega.

9.1.2.1.3 Especificação pela composição da mistura (traço)

O concreto é solicitado especificando-se as quantidades por metro cúbico de cada um dos componentes, incluindo-se aditivos, se for o caso.

9.1.2.1.4 Exigências complementares

A ABNT NBR 7212 estabelece outras exigências que podem ser solicitadas quando da especificação do concreto, definindo ainda os critérios de entrega desse material e estabelecendo condições inerentes ao processo.

9.2 Cuidados preliminares

9.2.1 Fôrmas

Antes do lançamento do concreto devem ser devidamente conferidas as dimensões e a posição (nivelamento e prumo) das fôrmas, a fim de assegurar que a geometria dos elementos estruturais e da estrutura como um todo estejam conforme o estabelecido no projeto, com as tolerâncias previstas em 9.2.4, além das previstas nas normas de projeto (5.1) ou nas especificações do projeto (5.2.1).

A superfície interna das fôrmas deve ser limpa e deve-se verificar a condição de estanqueidade das juntas, de maneira a evitar a perda de pasta ou argamassa. Nas fôrmas de paredes, pilares e vigas estreitas e altas, devem ser deixadas aberturas provisórias próximas ao fundo, para limpeza.

Fôrmas construídas com materiais que absorvam umidade ou facilitem a evaporação devem ser molhadas até a saturação, para minimizar a perda de água do concreto, fazendo-se furos para escoamento da água em excesso, salvo especificação contrária em projeto.

Se a fôrma for utilizada para concreto aparente, o tratamento das superfícies da fôrma deve ser feito de maneira que o acabamento requerido seja alcançado.

O uso de desmoldantes deve seguir o que determina 7.2.7.

9.2.2 Escoramentos

Antes do lançamento do concreto devem ser devidamente conferidas as posições e condições estruturais do escoramento, a fim de assegurar que as dimensões e posições das fôrmas sejam mantidas de acordo com o

projeto e permitir o tráfego de pessoal e equipamento necessários à operação de concretagem com segurança.

9.2.3 Armaduras

A montagem, o posicionamento e o cobrimento especificados para as armaduras passivas devem ser verificados e as barras de aço devem estar previamente limpas de acordo com o que estabelecem 8.1.4 e 8.1.5.

Os estribos de pilares no trecho da intersecção com a viga devem ser projetados de modo a possibilitar sua montagem.

NOTA Nas regiões de grande densidade de armadura, como por exemplo na região de traspasse de armadura de pilar, o projeto deve prever detalhamento que garanta o espaçamento necessário entre barras para a execução da concretagem.

O posicionamento e a fixação das armaduras ativas devem ser verificados como estabelecem os anexos A e C. Devem ser tomados os cuidados especiais contra problemas relacionados à corrosão.

9.2.4 Tolerâncias

A execução das estruturas de concreto deve ser a mais cuidadosa, a fim de que as dimensões, a forma e a posição das peças e as dimensões e posição da armadura obedeçam às indicações do projeto com a maior precisão possível.

Devem ser respeitadas as tolerâncias estabelecidas nesta seção e nas tabelas 2 a 4, caso o plano da obra, em virtude de circunstâncias especiais, não as exija mais rigorosas.

Tabela 2 — Tolerâncias dimensionais para as seções transversais de elementos estruturais lineares e para a espessura de elementos estruturais de superfície

Dimensão (a) cm	Tolerância (t) mm
$a \leq 60$	± 5
$60 < a \leq 120$	± 7
$120 < a \leq 250$	± 10
$a > 250$	$\pm 0,4 \%$ da dimensão

Tabela 3 — Tolerâncias dimensionais para o comprimento de elementos estruturais lineares

Dimensão (l) m	Tolerância (t) mm
$l \leq 3$	± 5
$3 < l \leq 5$	± 10
$5 < l \leq 15$	± 15
$l > 15$	± 20
NOTA A tolerância dimensional de elementos lineares justapostos deve ser considerada sobre a dimensão total.	

Para fins de liberação dos galstinhos de pilares de um pavimento, a tolerância para posição dos eixos de cada pilar em relação ao projeto é de ± 5 mm.

A tolerância individual de desaprumo e desalinhamento de elementos estruturais lineares deve ser menor ou igual a $l/500$ ou 5 mm, adotando-se o maior valor, e a tolerância cumulativa deve obedecer à seguinte equação:

$$t_{\text{tot}} \leq 8 \sqrt{H_{\text{tot}}}$$

onde:

t_{tot} é a tolerância cumulativa ou total da edificação, em milímetros;

H_{tot} é a altura da edificação, em metros.

Dimensão (s) cm		Tolerância ^{1), 3)} (t) mm
Tipo de elemento estrutural	Posição da verificação	
Elementos de superfície	Horizontal	5
	Vertical	20 ²⁾
Elementos lineares	Horizontal	10
	Vertical	10
¹⁾ Em regiões especiais (tais como: apoios, ligações, intersecções de elementos estruturais, traspasse de armadura de pilares e outras) essas tolerâncias não se aplicam, devendo ser objeto de entendimento entre o responsável pela execução da obra e o projetista estrutural. ²⁾ Tolerância relativa ao alinhamento da armadura. ³⁾ O cobrimento das barras e a distância mínima entre elas não podem ser inferiores aos estabelecidos na ABNT NBR 6118.		

O nivelamento das fôrmas, antes da concretagem, com relação às cotas de projeto, deve respeitar a tolerância estabelecida a seguir:

$$5 \text{ mm} \leq t \leq \frac{l}{1\,000} \leq 10 \text{ mm}$$

onde:

t é a tolerância do nivelamento da fôrma, em milímetros;

l é a maior dimensão da fôrma, em metros.

O nivelamento do pavimento, após a concretagem (ainda escorado) e exclusivamente devido ao peso próprio, com relação às cotas de projeto, deve respeitar a tolerância estabelecida a seguir:

$$5 \text{ mm} \leq t \leq \frac{l}{1\,000} \leq 40 \text{ mm}$$

onde:

t é a tolerância do nivelamento do pavimento, em milímetros;

l é a maior dimensão do pavimento, em metros.

9.2.5 Condições operacionais na obra

Antes de proceder à mistura do concreto na obra ou solicitar a entrega de concreto dosado em central, é necessário verificar as condições operacionais dos equipamentos disponíveis no local de trabalho e sua adequabilidade ao volume de concreto a ser produzido e transportado.

As condições e a quantidade disponível de equipamentos necessários ao lançamento e ao adensamento do concreto devem também ser verificadas nesta etapa.

A equipe de trabalhadores devidamente treinados para a operação de concretagem deve estar dimensionada para realizar as etapas de preparo do concreto (se for o caso), lançamento e adensamento, no tempo estabelecido.

No caso de concreto dosado em central, o trajeto a ser percorrido pelo caminhão betoneira no canteiro de obras até o ponto de descarga do concreto deve estar desimpedido e o terreno firme, de forma a evitar dificuldades na concretagem e atrasos no cronograma dessa operação. A circulação dos caminhões deve ser facilitada, para que caminhões vazios possam deixar o local de descarga, dando espaço para entrada de outros. Após a descarga do concreto, a “bica” de descarga deve ser lavada no canteiro de obras.

Quando o concreto for lançado por meio de bombeamento ou quando, em função das dimensões da estrutura de concreto, houver grande quantidade de caminhões circulando, deve-se prever um local próximo ao de concretagem para que os caminhões aguardem pelo momento de descarregar.

Cuidados adicionais relativos à concretagem em temperaturas excessivamente baixas ou elevadas são estabelecidos em 9.3.2 e 9.3.3.

9.3 Plano de concretagem

9.3.1 Generalidades

Os procedimentos de recebimento, liberação, lançamento e amostragem para controle do concreto devem atender ao que estabelece 5.3.

A concretagem de cada elemento estrutural deve ser realizada de acordo com um plano previamente estabelecido. Um plano de concretagem bem elaborado deve assegurar o fornecimento da quantidade adequada de concreto com as características necessárias à estrutura.

O plano de concretagem deve observar o disposto em 7.1-a) com relação ao sistema de fôrmas e prever:

- a área ou o volume concretados em função do tempo de trabalho;
- a relação entre lançamento, adensamento e acabamento (ver 9.5.3);
- as juntas de concretagem, quando necessárias, a partir de definição em comum acordo entre os responsáveis pela execução da estrutura de concreto e pelo projeto estrutural;
- o acabamento final que se pretende obter.

A capacidade (pessoal e equipamentos) de lançamento deve permitir que o concreto se mantenha plástico e livre de juntas não previstas durante a concretagem.

Todos os equipamentos utilizados no lançamento do concreto devem estar limpos e em condições de utilização e devem permitir que o concreto seja levado até o ponto mais distante a ser concretado na estrutura sem sofrer segregação.

Os equipamentos devem ser dimensionados e adequados ao processo de concretagem escolhido e em quantidade suficiente, de forma a possibilitar que o trabalho seja desenvolvido sem atrasos e a equipe de

trabalhadores deve ser suficiente para assegurar que as operações de lançamento, adensamento e acabamento do concreto sejam realizadas a contento.

Se a concretagem for realizada durante a noite, o sistema de iluminação deve permitir condições de inspeção, acompanhamento de execução e controle dos serviços e promover segurança na área de trabalho.

A inspeção e liberação do sistema de fôrmas, das armaduras e de outros itens da estrutura deve ser realizada antes da concretagem. O método de documentação dessa inspeção deve ser desenvolvido e aprovado pelas partes envolvidas antes do início dos trabalhos. Cada um desses aspectos deve ser cuidadosamente examinado, de modo a assegurar que está de acordo com o projeto, as especificações e as normas técnicas.

9.3.2 Concretagem em temperatura muito fria

A temperatura da massa de concreto, no momento do lançamento, não deve ser inferior a 5°C.

Salvo disposições em contrário, estabelecidas no projeto ou definidas pelo responsável técnico pela obra, a concretagem deve ser suspensa sempre que estiver prevista queda na temperatura ambiente para abaixo de 0°C nas 48 h seguintes.

O emprego de aditivos requer prévia comprovação de seu desempenho. Em nenhum caso devem ser usados produtos que possam atacar quimicamente as armaduras, em especial aditivos à base de cloreto de cálcio.

9.3.3 Concretagem em temperatura muito quente

Quando a concretagem for efetuada em temperatura ambiente muito quente ($\geq 35^{\circ}\text{C}$) e, em especial, quando a umidade relativa do ar for baixa ($\leq 50\%$) e a velocidade do vento alta ($\geq 30 \text{ m/s}$), devem ser adotadas as medidas necessárias para evitar a perda de consistência e reduzir a temperatura da massa de concreto.

Imediatamente após as operações de lançamento e adensamento, devem ser tomadas providências para reduzir a perda de água do concreto.

Salvo disposições em contrário, estabelecidas no projeto ou definidas pelo responsável técnico pela obra, a concretagem deve ser suspensa se as condições ambientais forem adversas, com temperatura ambiente superior a 40°C ou vento acima de 60 m/s.

9.4 Transporte do concreto na obra

O concreto deve ser transportado do local do amassamento ou da boca de descarga do caminhão betoneira até o local da concretagem num tempo compatível com as condições de lançamento (ver 9.5). O meio utilizado para o transporte não deve acarretar desagregação dos componentes do concreto ou perda sensível de água, pasta ou argamassa por vazamento ou evaporação.

NOTA Salvo condições específicas definidas em projeto, ou influência de condições climáticas ou de composição do concreto, recomenda-se que o intervalo de tempo transcorrido entre o instante em que a água de amassamento entra em contato com o cimento e o final da concretagem não ultrapasse a 2 h 30 min. Quando a temperatura ambiente for elevada, ou sob condições que contribuam para acelerar a pega do concreto, esse intervalo de tempo deve ser reduzido, a menos que sejam adotadas medidas especiais, como o uso de aditivos retardadores, que aumentem o tempo de pega sem prejudicar a qualidade do concreto.

No caso de concreto bombeado, o diâmetro interno do tubo de bombeamento deve ser no mínimo quatro vezes o diâmetro máximo do agregado.

O sistema de transporte deve, sempre que possível, permitir o lançamento direto do concreto nas fôrmas, evitando o uso de depósitos intermediários; quando estes forem necessários, no manuseio do concreto devem ser tomadas precauções para evitar segregação.

9.5 Lançamento

9.5.1 Generalidades

Antes da aplicação do concreto, deve ser feita a remoção cuidadosa de detritos.

O concreto deve ser lançado e adensado de modo que toda a armadura, além dos componentes embutidos previstos no projeto, sejam adequadamente envolvidos na massa de concreto.

Em nenhuma hipótese deve ser realizado o lançamento do concreto após o início da pega. Concreto contaminado com solo ou outros materiais não deve ser lançado na estrutura.

O concreto deve ser lançado o mais próximo possível de sua posição definitiva, evitando-se incrustação de argamassa nas paredes das fôrmas e nas armaduras.

Devem ser tomadas precauções para manter a homogeneidade do concreto. No lançamento convencional, os caminhos não devem ter inclinação excessiva, de modo a evitar a segregação decorrente do transporte. O molde da fôrma deve ser preenchido de maneira uniforme, evitando o lançamento em pontos concentrados, que possa provocar deformações do sistema de fôrmas.

O concreto deve ser lançado com técnica que elimine ou reduza significativamente a segregação entre seus componentes, observando-se maiores cuidados quanto maiores forem a altura de lançamento e a densidade de armadura. Estes cuidados devem ser majorados quando a altura de queda livre do concreto ultrapassar 2 m, no caso de peças estreitas e altas, de modo a evitar a segregação e falta de argamassa (como nos pés de pilares e nas juntas de concretagem de paredes). Entre os cuidados que podem ser tomados, no todo ou em parte, recomenda-se o seguinte:

- emprego de concreto com teor de argamassa e consistência adequados, a exemplo de concreto com características para bombeamento;
- lançamento inicial de argamassa com composição igual à da argamassa do concreto estrutural;
- uso de dispositivos que conduzam o concreto, minimizando a segregação (funis, calhas e trombas, por exemplo).

Deve haver um cuidado especial em evitar o deslocamento de armaduras, dutos de protensão, ancoragens e fôrmas, bem como para não produzir danos nas superfícies das fôrmas, principalmente quando o lançamento do concreto for realizado em peças altas, por queda livre.

As fôrmas devem ser preenchidas em camadas de altura compatível com o tipo de adensamento previsto (ou seja, em camadas de altura inferior à altura da agulha do vibrador mecânico) para se obter um adensamento adequado (ver 9.6). Em peças verticais e esbeltas, tipo paredes e pilares, pode ser conveniente utilizar concretos de diferentes consistências, de modo a reduzir o risco de exsudação e segregação.

Cuidados especiais devem ser tomados até nas concretagens correntes, tanto em lajes inclinadas quanto em lajes planas, sempre conduzindo o concreto lançado contra o já adensado.

9.5.2 Relação entre lançamento, adensamento e acabamento do concreto

O plano de concretagem deve prever a relação entre as operações de lançamento e adensamento, de forma que seja suficientemente elevada para evitar a formação de juntas frias e baixa o necessário para evitar sobrecarga nas fôrmas e escoramentos.

A operação de lançamento deve ser contínua, de maneira que, uma vez iniciada, não sofra nenhuma interrupção, até que todo o volume previsto no plano de concretagem tenha sido completado.

9.5.3 Lançamento submerso

Quando o lançamento for submerso, o estudo de dosagem deve prever um concreto auto-adensável, coeso e plástico. Na falta de um estudo de dosagem que garanta essas características, deve-se preparar o concreto com consumo mínimo de cimento Portland maior ou igual a 400 kg/m³ e consistência plástica, de forma que possa ser levado ao local de lançamento por meio de uma tubulação submersa. A ponta do tubo de lançamento deve ser mantida dentro do concreto já lançado, a fim de evitar agitação prejudicial. Após o lançamento o concreto não deve ser manuseado para adquirir uma forma definitiva específica, devendo-se manter continuidade na concretagem.

O lançamento de concreto submerso não deve ser realizado quando a temperatura da água for menor que 5°C, mesmo estando o concreto fresco com temperatura normal, nem quando a velocidade da água for maior que 2 m/s.

9.6 Adensamento

9.6.1 Generalidades

Durante e imediatamente após o lançamento, o concreto deve ser vibrado ou apiloado contínua e energicamente com equipamento adequado à sua consistência. O adensamento deve ser cuidadoso para que o concreto preencha todos os recantos das fôrmas.

Durante o adensamento devem ser tomados os cuidados necessários para que não se formem ninhos ou haja a segregação dos materiais. Deve-se evitar a vibração da armadura para que não se formem vazios ao seu redor, com prejuízos da aderência.

No adensamento manual, a altura das camadas de concreto não deve ultrapassar 20 cm. O adensamento por meio de vibradores de imersão está estabelecido em 9.6.2. Em todos os casos, a altura da camada de concreto a ser adensada deve ser menor que 50 cm, de modo a facilitar a saída de bolhas de ar.

O plano de lançamento deve estabelecer a altura das camadas de lançamento do concreto e o processo mais adequado de adensamento. No caso de alta densidade de armaduras, cuidados especiais devem ser tomados para que o concreto seja distribuído em todo o volume da peça e o adensamento se processe de forma homogênea.

9.6.2 Cuidados no adensamento com vibradores de imersão

Quando forem utilizados vibradores de imersão, a espessura da camada deve ser aproximadamente igual a 3/4 do comprimento da agulha. Ao vibrar uma camada de concreto, o vibrador deve penetrar cerca de 10 cm na camada anterior.

Tanto a falta como o excesso de vibração são prejudiciais ao concreto.

Devem ser tomados os seguintes cuidados durante o adensamento com vibradores de imersão (ver figura 2):

- preferencialmente aplicar o vibrador na posição vertical;
- vibrar o maior número possível de pontos ao longo do elemento estrutural;
- retirar o vibrador lentamente, mantendo-o sempre ligado, a fim de que a cavidade formada pela agulha se feche novamente;
- não permitir que o vibrador entre em contato com a parede da fôrma, para evitar a formação de bolhas de ar na superfície da peça, mas promover um adensamento uniforme e adequado de toda a massa de concreto, observando cantos e arestas, de maneira que não se formem vazios;
- mudar o vibrador de posição quando a superfície apresentar-se brilhante.

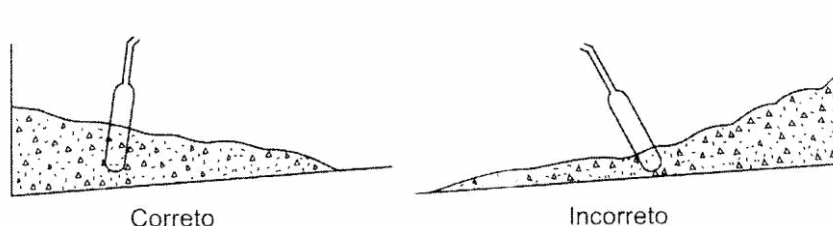


Figura 2-a)

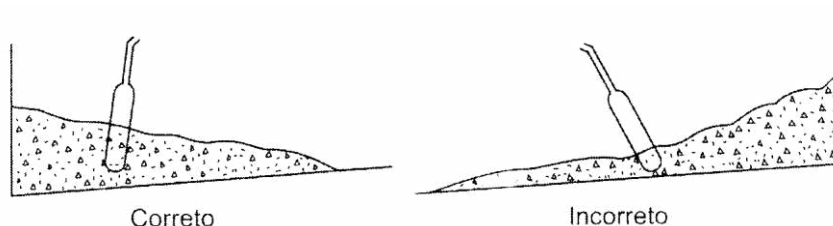


Figura 2-b)

Figura 2 — Adensamento do concreto com vibradores de imersão

9.7 Juntas de concretagem

Quando o lançamento do concreto for interrompido e, assim, se formar uma junta de concretagem não prevista, devem ser tomadas as devidas precauções para garantir a suficiente ligação do concreto já endurecido com o do novo trecho.

O concreto deve ser perfeitamente adensado até a superfície da junta, usando-se fôrmas temporárias (por exemplo, tipo “pente”), quando necessário, para garantir apropriadas condições de adensamento.

Antes da aplicação do concreto, deve ser feita a remoção cuidadosa de detritos.

Antes de reiniciar o lançamento do concreto deve ser removida a nata da pasta de cimento (vitrificada) e feita a limpeza da superfície da junta, com a retirada do material solto. Pode ser retirada a nata superficial com a aplicação de jato de água sob forte pressão logo após o fim de pega (“corte verde”). Em outras situações, para se obter a aderência desejada entre a camada remanescente e o concreto a ser lançado, é necessário o jateamento de abrasivos ou o apicoamento da superfície da junta, com posterior lavagem, de modo a deixar aparente o agregado graúdo. Nesses casos, o concreto já endurecido deve ter resistência suficiente para não sofrer perda indesejável de material, gerando a formação de vazios na região da junta de concretagem. Cuidados especiais devem ainda ser tomados no sentido de não haver acúmulo de água em cavidades formadas pelo método de limpeza da superfície.

Devem ser tomadas as precauções necessárias para garantir a resistência aos esforços que podem agir na superfície da junta. Uma medida adequada consiste normalmente em deixar arranques da armadura ou barras cravadas ou reentrâncias no concreto mais velho. Na retomada da concretagem, aplicar argamassa com a mesma composição da argamassa do concreto sobre a superfície da junta, para evitar a formação de vazios.

NOTA Podem ser utilizados produtos para melhorar a aderência entre as camadas de concreto em uma junta de concretagem, desde que não causem danos ao concreto e seja possível comprovar desempenho ao menos igual aos métodos tradicionalmente utilizados. O uso de resinas, nesse caso, deve levar em conta seu comportamento ao fogo.

As juntas de concretagem, sempre que possível, devem ser previstas no projeto estrutural e estar localizadas onde forem menores os esforços de cisalhamento, preferencialmente em posição normal aos esforços de compressão, salvo se demonstrado que a junta não provocará a diminuição da resistência do elemento estrutural. No caso de vigas ou lajes apoiadas em pilares, ou paredes, o lançamento do concreto deve ser interrompido no plano horizontal.

Juntas de concretagem não previstas no projeto estrutural devem ser previamente aprovadas pelo responsável técnico pela obra.

9.8 Acabamento

Para obter uma superfície durável e uniforme de concreto, processos adequados devem ser cuidadosamente seguidos.

Inicialmente, a escolha do traço e conseqüentemente da consistência do concreto deve atender aos requisitos de projeto da estrutura e às condições de trabalhabilidade necessárias. Os processos de lançamento e adensamento devem ser realizados de forma a obter um material homogêneo e compacto, ou seja, sem apresentar vazios na massa de concreto, com o mínimo manuseio possível, para se obter os resultados desejados no acabamento das peças concretadas.

Deve ser evitada a manipulação excessiva do concreto, como processos de vibração muito demorados ou repetidos em um mesmo local, que provoca a segregação do material e a migração do material fino e da água para a superfície (exsudação), prejudicando a qualidade da superfície final com o conseqüente aparecimento de efeitos indesejáveis.

10 Cura e retirada de fôrmas e escoramentos

10.1 Cura e cuidados especiais

Enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais para:

- evitar a perda de água pela superfície exposta;
- assegurar uma superfície com resistência adequada;
- assegurar a formação de uma capa superficial durável.

Os agentes deletérios mais comuns ao concreto em seu início de vida são: mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, congelamento, agentes químicos, bem como choques e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuras na massa de concreto ou prejudicar a sua aderência à armadura.

O endurecimento do concreto pode ser acelerado por meio de tratamento térmico ou pelo uso de aditivos que não contenham cloreto de cálcio em sua composição e devidamente controlado, não se dispensando as medidas de proteção contra a secagem.

Elementos estruturais de superfície devem ser curados até que atinjam resistência característica à compressão (f_{ck}), de acordo com a ABNT NBR 12655, igual ou maior que 15 MPa.

No caso de utilização de água, esta deve ser potável ou satisfazer às exigências da ABNT NBR 12654.

10.2 Retiradas das fôrmas e do escoramento

10.2.1 Generalidades

Fôrmas e escoramentos devem ser removidos de acordo com o plano de desforma previamente estabelecido e de maneira a não comprometer a segurança e o desempenho em serviço da estrutura.

Para efetuar sua remoção devem ser considerados os seguintes aspectos:

- peso próprio da estrutura ou da parte a ser suportada por um determinado elemento estrutural;

- cargas devidas a fôrmas ainda não retiradas de outros elementos estruturais (pavimentos);
- sobrecargas de execução, como movimentação de operários e material sobre o elemento estrutural;
- seqüência de retirada das fôrmas e escoramentos e a possível permanência de escoramentos localizados (ver 7.2.2.2);
- operações particulares e localizadas de retirada de fôrmas (como locais de difícil acesso);
- condições ambientais a que será submetido o concreto após a retirada das fôrmas e as condições de cura;
- possíveis exigências relativas a tratamentos superficiais posteriores.

10.2.2 Tempo de permanência de escoramentos e fôrmas

Em elementos de concreto protendido é fundamental que a remoção das fôrmas e escoramentos seja efetuada em conformidade com a programação prevista no projeto estrutural.

Escoramentos e fôrmas não devem ser removidos, em nenhum caso, até que o concreto tenha adquirido resistência suficiente para:

- suportar a carga imposta ao elemento estrutural nesse estágio;
- evitar deformações que excedam as tolerâncias especificadas;
- resistir a danos para a superfície durante a remoção.

Deve ser dada especial atenção ao tempo especificado para a retirada do escoramento e das fôrmas que possam impedir a livre movimentação de juntas de retração ou dilatação, bem como de articulações, atendido o disposto em 7.2.

Se a fôrma for parte integrante do sistema de cura, como no caso de pilares e laterais de vigas, o tempo de remoção deve considerar os requisitos de cura da seção 10.

A retirada das fôrmas e do escoramento só pode ser feita quando o concreto estiver suficientemente endurecido para resistir às ações que sobre ele atuem e não conduzir a deformações inaceitáveis, tendo em vista o baixo valor do módulo de elasticidade do concreto (E_{ci}) e a maior probabilidade de grande deformação diferida no tempo quando o concreto é solicitado com pouca idade.

Para o atendimento dessas condições, o responsável pelo projeto da estrutura deve informar ao responsável pela execução da obra os valores mínimos de resistência à compressão e módulo de elasticidade que devem ser obedecidos concomitantemente para a retirada das fôrmas e do escoramento, bem como a necessidade de um plano particular (seqüência de operações) de retirada do escoramento.

10.2.3 Precauções

A retirada do escoramento e das formas deve ser efetuada sem choques e obedecer ao plano de desforma elaborado de acordo com o tipo da estrutura.

11 Recebimento da estrutura de concreto

A estrutura de concreto deve ser recebida desde que cumpridas as exigências desta Norma, verificadas no documento de “como construído” (5.2.2.1), atendendo também ao estabelecido nas especificações de projeto (3.7) e nas normas de projeto, em especial na ABNT NBR 6118.

Anexo A (normativo)

Execução da protensão em concreto protendido com aderência posterior

A.1 Objetivo

Este anexo tem por objetivo fixar as condições exigíveis para a execução da protensão em obras de concreto protendido com aderência posterior.

A.2 Definições

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as seguintes definições:

A.2.1 amadura de protensão: Conjunto de cabos confeccionados conforme especificação de projeto destinado a geração das forças de protensão.

A.2.2 ancoragem: Dispositivo capaz de manter o cabo em estado de tensão, transmitindo força de protensão à estrutura.

A.2.3 ancoragem ativa: Ancoragem na qual se promove o estado de tensão no cabo, através de equipamento de protensão.

A.2.4 ancoragem de emenda: Dispositivo destinado a dar continuidade a trechos de cabos.

A.2.5 ancoragem morta: Dispositivo imerso no concreto, destinado a fixar a extremidade do cabo oposta àquela da ancoragem ativa. Esta ancoragem não permite acesso para operação e verificação do grau de protensão e da eventual ocorrência de deslizamento.

A.2.6 ancoragem passiva: Dispositivo embutido no concreto, destinado a fixar a extremidade do cabo oposta àquela da ancoragem ativa. Embora de configuração análoga àquela da ancoragem ativa, pode ou não permitir acesso para operação de protensão e possibilita verificação do grau de protensão e a eventual ocorrência de deslizamentos.

A.2.7 cabeça pré-moldada: Peça de concreto que aloja uma ou mais ancoragens, executada previamente com a finalidade de permitir a antecipação das operações de tensionamento dos cabos e com a função de melhorar a distribuição dos esforços nas extremidades.

A.2.8 cabo: Conjunto formado por fios, cordoalhas ou barras e seus dispositivos complementares, como ancoragem, bainhas, purgadores etc.

A.2.9 fretagem: Armadura passiva (frouxa) destinada a resistir às tensões locais de tração no concreto, transmitidas pela ancoragem.

A.2.10 bainha: Duto que isola o cabo do concreto.

A.2.11 luva: Peça destinada a emendar bainhas.

A.2.12 trombeta ou funil: Peça que faz a concordância da bainha com a ancoragem.

A.2.13 suporte: Dispositivo utilizado para manter a bainha na posição do projeto.

A.2.14 espaçadores: Dispositivos utilizados em alguns tipos de cabos, destinados a manter seus elementos componentes afastados uns dos outros.

A.2.15 operação de protensão: Ato de aplicar força de tração no cabo de protensão, sob condições previamente especificadas.

A.2.16 operação de cravação: Ato de fixar o cabo à ancoragem ativa, após a operação de protensão.

A.2.17 operação de reprotensão: Compreende a execução de operação de protensão em cabo já protendido, sem a necessidade de efetuar a desprotensão.

A.2.18 desprotensão: Ato de proceder, controladamente, à diminuição de tensão de cabo já protendido.

A.2.19 acomodação de ancoragem: Perda de alongamento prevista e previamente determinada, para cada tipo de ancoragem, que ocorre durante a operação de cravação.

A.2.20 deslizamento: Movimento não previsto entre a armadura de protensão e a ancoragem.

A.2.21 zona de ancoragem: Região de uma peça de concreto onde se situam as ancoragens, especialmente reforçada, para atender aos esforços locais que aí se manifestam.

A.3 Requisitos gerais

A.3.1 A execução do concreto protendido exige o conhecimento completo e a experiência desse tipo de obra. Deve o proprietário da obra comprovar e assegurar-se da experiência e da capacidade dos engenheiros e dos técnicos que participam da obra, assim como da qualidade e da eficiência dos materiais, dos equipamentos e dos métodos que são utilizados.

A.3.2 O engenheiro ou técnico especializado deve estar presente durante a execução das etapas da obra relacionadas à protensão.

A.4 Materiais

A.4.1 Aços para armadura de protensão

A.4.1.1 Devem satisfazer os requisitos das ABNT NBR 7482 e ABNT NBR 7483.

NOTA A tabela A.1 apresenta, de maneira orientativa, as massas da cordoalha CP190 RB para protensão aderente.

Tabela A.1 — Massa aproximada em função do diâmetro nominal

Diâmetro nominal da cordoalha mm	Massa aproximada da cordoalha kg/km
12,70	792
15,20	1 126

A.4.1.2 Devem ser tomados os cuidados necessários à manutenção da integridade física do produto durante a manipulação e estocagem. Em particular, quanto à oxidação, deve ser obedecido o disposto nas ABNT NBR 7482 e ABNT NBR 7483.

A.4.1.3 Caso seja indispensável a execução de solda próxima aos aços para armadura de protensão, deve ser usada proteção que garanta a integridade dos mesmos.

A.4.1.4 O aço deve ser estocado sobre piso, ou pranchado de madeira, distando pelo menos 0,30 m do solo. Essa proteção deve ser complementada por uma cobertura, evitando-se, porém, que a mesma tenha contato direto com o aço estocado. Esta cobertura deve ser suficiente para proteger o material contra água. O rigor desses cuidados deve aumentar em função do tempo de permanência do aço em estoque e das condições do ambiente. Recomenda-se que o aço seja estocado na embalagem original do fornecedor.

A.4.1.5 É vedado o uso de óleo solúvel em água para proteger o aço de protensão contra corrosão.

A.4.2 Bainhas

A.4.2.1 Na escolha da bainha devem ser levados em consideração os processos de montagem que são utilizados para a armadura de protensão, assim como as condições ambientais a que estão submetidas as obras.

NOTA A bainha deve garantir, temporária ou permanentemente, a movimentação do cabo no seu interior.

A.4.2.2 As bainhas devem ter diâmetro interno pelo menos medindo 10 mm (admitindo-se 6 mm para bainhas chatas) a mais do que o diâmetro do respectivo cabo e área interna de sua seção transversal igual a no mínimo 2,5 vezes a área da seção transversal dos aços de protensão. Para cabos verticais e para o caso de se adotar o princípio da cablagem pós-enfiada (concretagem da peça estrutural com as bainhas vazias) esses valores devem ser aumentados. No caso de barra, o diâmetro interno da bainha deve medir pelo menos 6 mm a mais que o diâmetro da barra.

NOTA Para evitar que os aços de protensão permaneçam no interior das bainhas por período muito prolongado até a operação de protensão, deve ser adotado, sempre que possível, o critério de pós-enfição da cablagem.

A.4.2.3 As bainhas devem ser suficientemente resistentes para suportar os pesos dos respectivos cabos e garantir sua fixação e posicionamento. As bainhas metálicas devem ter espessura de parede mínima de 0,3 mm, desde que seu diâmetro interno não ultrapasse 90 mm. Nos casos de bainha com diâmetro interno maior que 90 mm e cabos pós-enfiados, a espessura mínima da parede deve ser de 0,35 mm.

NOTA Dependendo da capacidade do cabo e das condições de lançamento e adensamento do concreto, os valores estabelecidos para a espessura das bainhas devem ser aumentados.

A.4.2.4 Se a distância entre bainhas, no ponto de seu cruzamento, for menor que 25 mm, recomenda-se que sejam tomadas precauções para evitar que haja comunicação de calda entre as bainhas.

A.4.2.5 As emendas entre bainhas e suas ligações com as ancoragens devem ser asseguradas por meio de luvas externas feitas com o mesmo material da bainha e diâmetro ligeiramente maior, e com emprego adicional de material de vedação tipo termorretrátil, massa epóxica, fita adesiva ou solda.

A.4.2.6 Os materiais utilizados para confecção das bainhas e para sua vedação não podem causar ataque químico ou de origem eletrolítica às armaduras.

A.4.2.7 A bainha deve ser estocada nas mesmas condições descritas em A.4.1.4.

A.4.2.8 O espaçamento dos suportes deve ser suficiente para resistir às cargas durante a montagem da bainha e do cabo, concretagem da peça e impedir deslocamento. Sob cada emenda deve ser colocado suporte para evitar danos a ela.

A.4.3 Ancoragens

Devem seguir as especificações do sistema de protensão adotado. As fixações das ancoragens nas formas devem ser capazes de garantir o seu correto posicionamento, durante todas as operações de montagens e concretagens.

A.5 Confeção dos cabos

A.5.1 Todo o aço deve ser inspecionado antes de ser empregado. Se por qualquer razão (como, por exemplo, armazenamento ou manuseio inadequados) houver dúvidas sobre a qualidade do aço, este deve ser submetido a novos ensaios para a comprovação de suas características mecânicas originais.

A.5.2 Os cabos devem ser confeccionados em local adequado, sem contato com o solo ou agentes que possam vir a danificá-los. O aço deve se encontrar limpo, isento de óleo e de resíduos.

A.5.3 O aço deve ser cortado de acordo com o comprimento indicado no projeto, tomando-se o cuidado de verificar se neste já estão incluídos os comprimentos necessários para a fixação dos equipamentos de protensão. O aço deve ser cortado por meio de disco esmeril rotativo ou tesoura .

A.5.4 É vedado efetuar no elemento tensor, o corte com maçarico, bem como o endireitamento através de máquinas endireitadoras ou qualquer outro processo, pois esses procedimentos alteram radicalmente as propriedades físicas do aço.

A.5.5 Durante ou após a confecção, os cabos não devem ser, em hipótese alguma, arrastados sobre o solo ou sobre superfícies abrasivas, não devendo ainda sofrer dobramentos ou torções que neles possam introduzir defeitos ou deformações permanentes.

A.5.6 O processo de confecção dos cabos deve prever métodos de marcação e documentação adequada, de modo a garantir a identificação de todo o material utilizado.

A.5.7 O processo de confecção deve evitar entrelaçamentos, procurando o paralelismo de todos os fios ou cordoalhas.

A.5.8 A estocagem dos cabos após sua confecção deve obedecer ao prescrito em A.4.1.4 e A.4.1.5.

A.5.9 As amarrações utilizadas na confecção do cabo devem ser retiradas, à medida que estiver sendo introduzido na bainha.

A.6 Montagem dos cabos

A.6.1 Instalação dos cabos

O procedimento e os detalhes para a instalação dos cabos (pré-enfição ou enfição posterior) devem ser estabelecidos em função do sistema de protensão adotado, do tipo de obra e de entendimentos havidos entre o contratante e o projetista.

A.6.2 Dados necessários

Para a perfeita definição da posição das bainhas e das ancoragens, o projetista deve informar os seguintes dados:

- a) cotas (vertical e horizontal) dos eixos das bainhas em relação à peça, espaçadas a cada metro;
- b) ângulo de saída dos cabos na região das ancoragens;
- c) cotas (vertical e horizontal) dos pontos de concordância, de mudanças de curvatura e de cruzamento das bainhas;
- d) raios de curvatura, quando houver trechos circulares;
- e) numeração dos cabos nas vistas, nos cortes longitudinais e transversais;
- f) desvios admissíveis nas medidas.

A.6.3 Cuidados na montagem

Cuidados especiais devem ser tomados durante o posicionamento das bainhas na forma, no sentido de garantir a sua colocação nas posições estabelecidas no projeto, assim como a sua manutenção nestas posições durante as operações de concretagem, salientando-se:

- a) localizar as bainhas em relação à fôrma, segundo o projeto;
- b) fixar as bainhas em suas posições, mediante o uso de travessas fixadas às armaduras passivas, ou através do uso de suportes independentes especiais que se fizerem necessários;
- c) verificar se os estribos ou os suportes são capazes de suportar as bainhas e os cabos sem flambar;
- d) verificar se os pontos de suporte oferecem uma superfície adequada de contato com as bainhas, de maneira a evitar mossas ou outros danos. Devem também possibilitar fixação que evite possíveis deslocamentos horizontais ou verticais;
- e) fixar as ancoragens fixadas à fôrma, de maneira a não permitir deslocamentos durante os trabalhos subsequentes ou penetrações de argamassa no interior das bainhas;
- f) a implantação dos tubos de injeção e respiros deve atender ao especificado no anexo B;
- g) o trecho da bainha próximo à ancoragem deve ter seu posicionamento rigorosamente assegurado, conforme especificação do sistema de protensão.

A.7 Concretagem

A.7.1 Plano de concretagem

A operação de concretagem deve obedecer a um plano de concretagem previamente estabelecido, conforme prescrito na seção 9.

A.7.2 Cuidados antes da concretagem

A.7.2.1 Imediatamente antes da concretagem, todas as bainhas, seus suportes, os respiros e tubos de injeção e as junções devem ser inspecionados para se detectar eventuais defeitos, tais como desalinhamentos no traçado das bainhas, mossas, rupturas, orifícios ou deficiências de rigidez ou vedação.

A.7.2.2 Devem ser colocados gabaritos internamente aos tubos de injeção e respiros para evitar a obstrução de sua seção.

A.7.2.3 Todos os defeitos devem ser reparados. Todo trecho de bainha deformada transversalmente deve ser substituído e as bainhas perfuradas devem ser tornadas estanques. O responsável pela obra pode requerer nova inspeção após efetuado o reparo.

NOTA Os orifícios podem ser reparados por meio de tiras metálicas, com emprego adicional de material de vedação, conforme especificado em A.5.2.5.

A.7.2.4 Nos casos de concretagem por camadas, impondo a implantação da bainha em trechos, a extremidade do trecho de bainha que sai de uma camada deve ser solidamente tampada, para impedir a entrada de materiais estranhos em seu interior durante a concretagem e até o preparo para concretagem da camada seguinte.

A.7.3 Cuidados durante a concretagem

A.7.3.1 O concreto deve possuir trabalhabilidade e diâmetro máximo do agregado compatíveis com o espaçamento de bainhas, ancoragens e armaduras passivas. Em certos casos é necessário que a obra

disponha de um traço de concreto de igual resistência e de características especiais, para ser utilizado nas regiões de maior concentração (como por exemplo, na região das ancoragens).

A.7.3.2 A equipe que executa a concretagem deve ter conhecimento das posições onde devem ser introduzidos os vibradores, para que estes não danifiquem as bainhas, ou respiros e tubos de injeção ou vedação.

NOTA Para os casos em que haja congestionamento de bainhas e não haja segurança na utilização de vibradores de imersão, deve-se utilizar outros meios que garantam a qualidade da concretagem.

A.7.3.3 O diâmetro dos vibradores deve ser compatível com os espaçamentos entre bainhas e entre bainhas e a fôrma.

A.7.4 Cuidados após a concretagem

A.7.4.1 Para se detectar e evitar eventuais obstruções, imediatamente após o fim de pega do concreto devem ser tomadas providências, tais como: movimentação dos cabos, passagem de água e baixa pressão, passagem de gabarito. No caso de utilização de água, esta deve ser posteriormente expulsa por meio de ar comprimido, isento de partículas de óleo.

A.7.4.2 As extremidades das bainhas, tubos de injeção e respiros devem ser fechados para impedir a entrada de água e materiais no seu interior.

A.7.4.3 No sentido de evitar sua deterioração, as extremidades dos cabos devem ser protegidas das intempéries por meios adequados, não se permitindo também dobramentos com curvatura excessiva e pontos angulosos.

A.7.4.4 No caso de execução de obras em ambientes com temperatura elevada, ou em caso de utilização de cura térmica, as implicações desses efeitos térmicos devem ser levadas em conta pelo projetista.

A.8 Operação de protensão

A.8.1 Dados necessários

Os dados necessários são os seguintes:

- a) desenho de locação das peças e desenhos de cablagem;
- b) ensaios do aço utilizado com determinação da seção transversal e do módulo de elasticidade, identificando-se os cabos confeccionados de cada bobina;
- c) tabelas de controle de fabricação dos cabos, relacionando os mesmos com os ensaios dos aços utilizados para sua confecção;
- d) plano de protensão;
- e) características dos equipamentos que são utilizados na obra (área do pistão de tensão e curso dos macacos de protensão, perda de tensão por atrito no conjunto bomba-macaco-ancoragem), além de dados necessários à instalação e manipulação dos equipamentos.

A.8.2 Plano de protensão

As operações de protensão devem obedecer ao plano de protensão fornecido pelo projetista, o qual deve indicar seguintes dados:

- a) designação do aço conforme ABNT NBR 7482 e ABNT NBR 7483;

- b) módulo de elasticidade e seção transversal do aço considerado em projeto;
- c) valor da acomodação do sistema da ancoragem;
- d) coeficiente do atrito cabo-bainha;
- e) coeficiente de perdas devido às ondulações parasitas;
- f) resistência mínima do concreto, necessária para o início das operações de protensão;
- g) fases de protensão (em relação à força total);
- h) seqüência de protensão dos cabos a serem protendidos em cada fase;
- i) comprimento teórico de cada cabo adotado no cálculo dos alongamentos;
- j) força de protensão a ser aplicada em cada cabo e seu respectivo alongamento teórico.

A.8.3 Providências preliminares à protensão

A.8.3.1 Projetar o escoramento de maneira a permitir a retirada das fôrmas laterais ou possibilitar a inspeção da estrutura. O escoramento e as fôrmas devem também permitir as deformações e rotações previstas das estruturas.

A.8.3.2 Efetuar o reparo de eventuais falhas de concretagem antes da protensão.

A.8.3.3 Proceder à limpeza, retirando todo o tipo de impurezas das extremidades dos cabos e das superfícies de apoio dos macacos.

A.8.3.4 Verificar se o concreto estrutural e eventuais reparos efetuados atingiram os valores de resistência previstos pelo projetista, devendo-se iniciar as operações de protensão somente com autorização e presença da fiscalização.

A.8.3.5 O equipamento de aferição, com certificado emitido por laboratório idôneo (a cada 12 meses), deve ficar disponível para verificação periódica dos demais manômetros utilizados nos equipamentos de protensão, devendo ser utilizado apenas para esse fim. Essa verificação deve-se repetir a cada 600 operações de protensão e quando houver dúvidas sobre a precisão do equipamento.

A.8.3.6 Preparar andaimes e dispositivos apropriados para a perfeita colocação e operação dos equipamentos de protensão.

A.8.3.7 Retirar os obstáculos que interfiram com a correta colocação e operação dos equipamentos.

A.8.3.8 Determinar as áreas de segurança e garantir a não permanência de pessoas nas mesmas durante as operações.

A.8.3.9 As extremidades dos cabos devem ser identificadas conforme nomenclatura dos desenhos de projeto.

A.8.4 Cuidados durante a operação de protensão

A.8.4.1 Verificar se a seqüência de protensão dos cabos está de acordo com o previsto no plano de protensão.

A.8.4.2 Instalar os macacos de protensão, perfeitamente ajustados na superfície de apoio da ancoragem, a fim de evitar o tensionamento desigual dos elementos componentes do cabo.

A.8.4.3 Marcar todas as cordoalhas ou fios componentes do cabo junto às ancoragens ativas e passivas, a fim de detectar eventuais deslizamentos diferenciais.

A.8.4.4 A pressão nos equipamentos deve ter sua subida lenta, com paradas em intervalos iguais (com exceção do último intervalo), para a leitura dos alongamentos. Esses intervalos devem ser de 5 MPa ou 10 MPa.

A.8.4.5 A referência para a medida dos alongamentos deve ser feita no primeiro estágio de pressão, sem medida deste alongamento, uma vez que este é sujeito a erros provenientes da acomodação do conjunto.

A.8.5 Controle da protensão e interpretação desses controles

A.8.5.1 Para o controle da protensão, deve ser preparada para cada cabo uma planilha de protensão, onde devem constar pelo menos os seguintes dados:

- a) elemento da estrutura (vão, viga, laje etc.);
- b) número do cabo;
- c) tipo do cabo;
- d) tipo do equipamento de protensão;
- e) pressão manométrica teórica a aplicar;
- f) alongamento teórico total previsto, corrigido em função dos valores reais da seção transversal e do módulo de elasticidade, em relação ao previsto em A.8.2-b);
- g) pressões manométricas parciais, correspondentes às etapas de carregamento previstas.

A.8.5.2 Se P_i for a pressão manométrica teórica de projeto a se obter no fim da operação de protensão, os alongamentos devem ser medidos:

- a) estabelecendo uma pressão P_r (pressão de referência) no intervalo entre $0,8P_i$ e $0,9P_i$ de modo a ter pelo menos três estágios de pressão iguais;
- b) em um estágio de pressão P_a (pressão de alerta) situada ao redor de $0,85P_i$, onde é feita uma estimativa da pressão de cravação, tendo em vista as tolerâncias de execução especificadas na ABNT NBR 6118. A pressão P_a pode ser igual à pressão P_r .

NOTA Definir que a P_f (pressão final de cravação) será conhecida após a verificação do alongamento obtido dentro das tolerâncias expressas no item anterior.

A.8.5.3 Durante a operação de protensão, deve-se verificar a compatibilidade dos alongamentos obtidos nos intervalos de pressão, com os alongamentos teóricos esperados.

A.8.5.4 O alongamento total deve ser calculado tomando-se uma pressão arbitrária inicial (observando-se A.8.5.2-a) capaz de permitir a retificação completa do cabo a ser protendido (P_i), onde é feita referência inicial em um ponto fixo nas próprias cordoalhas componentes do cabo ou no êmbolo do macaco. Efetua-se em seguida a operação de protensão, por etapas, em intervalos iguais preestabelecidos (mínimo de três) até a pressão P_a (situada na faixa entre $0,8P_i$ e $0,9P_i$) e continua-se até atingir a pressão final P_f .

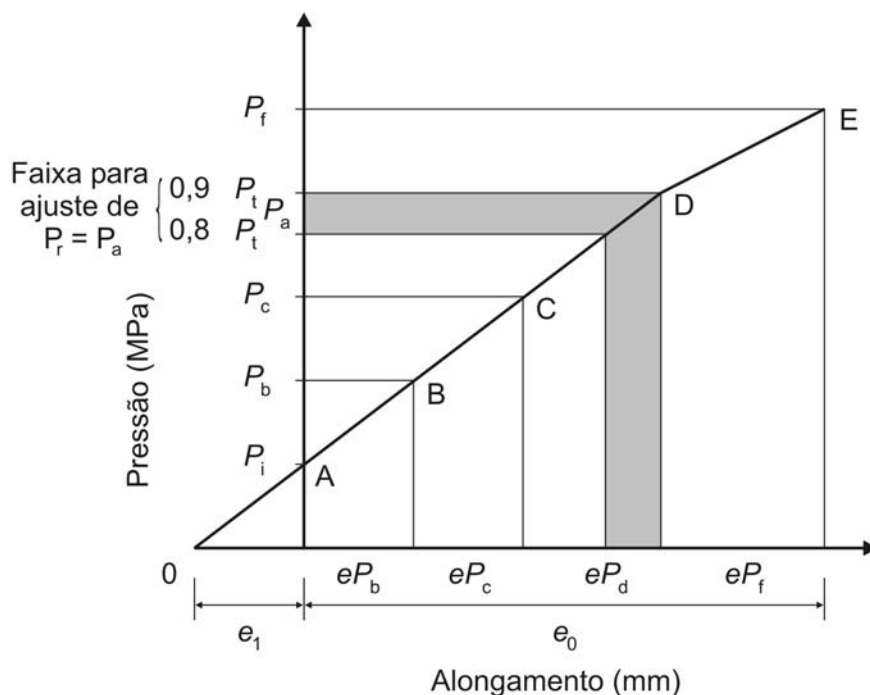


Figura A.1 — Curva pressão-alongamento

Para determinar a parcela e_1 , deve ser calculada a média dos alongamentos no intervalo entre as pressões P_r e P_i (referência inicial).

Para se obter o alongamento total do cabo (e_t) somam-se as parcelas e_1 e e_0 conforme as equações a seguir:

$$e_t = e_1 + e_0$$

sendo:

$$e_1 = \frac{\sum_{i=1}^n eP_i}{n}$$

A.8.5.5 Os valores calculados pelo projetista para o alongamento devem ser corrigidos em função dos módulos de elasticidade e seção transversal da seguinte forma:

$$k_{E_{corr}} = \frac{E_r}{E_t}$$

$$k_{S_{corr}} = \frac{S_r}{S_t}$$

onde:

k é uma constante de correção, obtida pela relação entre os valores reais e os valores teóricos adotados no cálculo;

$k_{E_{corr}}$ é a constante de correção do módulo de elasticidade do aço, para uma situação particular de protensão;

E_r é o módulo de elasticidade real, obtido em ensaio;

E_t é o módulo de elasticidade teórico considerado no projeto;

$k_{S_{corr}}$ é a constante de correção da área da seção transversal da armadura ativa, para uma situação particular de protensão;

S_r é a área real da seção transversal da armadura ativa;

S_t é a área teórica da seção transversal da armadura ativa considerado no projeto.

Essas duas variáveis devem ser utilizadas para correção do alongamento teórico da seguinte forma:

$$e_{t,corr} = \frac{e_t}{k_{S_{corr}} k_{E_{corr}}}$$

onde:

$e_{t,corr}$ é o alongamento teórico corrigido, em milímetros;

e_t é o alongamento teórico, definido no projeto em milímetros.

A.8.5.6 A cravação só deve ser feita após verificação e comparação do alongamento total obtido com o alongamento teórico preestabelecido para o cabo. Na falta de indicação específica no projeto, os valores de alongamento que se afastarem $\pm 10\%$ dos valores previstos devem ser comunicados ao responsável pela obra, para interpretação e conseqüente liberação ou eventual tomada de medidas corretivas. Os cabos cujos alongamentos estejam dentro do intervalo de $\pm 10\%$ dos valores previstos devem ser liberados, salvo nota específica do projeto.

A.8.5.7 Na operação de cravação, a força suportada pelo macaco neste estágio deve ser transferida para a ancoragem lentamente, a fim de evitar danos no cabo e na ancoragem e deslizamento não previsto entre o cabo e a cunha.

A.8.5.8 Para determinação da acomodação da ancoragem, a pressão deve ser a mínima necessária para manter o equipamento perfeitamente ajustado na superfície de apoio da ancoragem.

A.8.5.9 Devem ainda ser adotadas nas planilhas de protensão as eventuais anomalias ocorridas durante as operações de protensão, tais como quebra de fios, plastificações nas regiões das ancoragens, aparecimento de trincas com seu respectivo mapeamento e outras.

A.8.5.10 O alongamento total do cabo (e_t), também pode ser calculado segundo a fórmula:

$$e_t = \frac{e_{pf} - e_{pi}}{P_f - P_i} \times P_t$$

onde:

e_t é o alongamento total obtido, em milímetros;

e_{pf} é o alongamento obtido com a aplicação da pressão final, em milímetros;

e_{pi} é o alongamento obtido com a aplicação da pressão inicial, em milímetros;

P_f é a pressão final de protensão, em megapascal;

P_i é a pressão inicial da protensão, em megapascal.

Anexo B (normativo)

Execução da injeção de calda de cimento Portland em concreto protendido com aderência posterior

B.1 Objetivo

Este anexo tem por objetivo fixar as condições exigíveis para a preparação da calda de cimento e sua injeção, para preenchimento de bainhas de armadura de protensão de peças de concreto protendido.

B.2 Definições

Para os efeitos dos anexos A e B, aplicam-se as seguintes definições:

B.2.1 injeção primária: Injeção inicial com a qual pretende-se preencher a bainha.

B.2.2 injeção complementar: Injeção destinada a compensar os vazios deixados pela exsudação de calda da injeção primária.

B.2.3 etapa de injeção: Preenchimento com calda de um cabo ou de uma família de cabos interligados, quando houver risco ou certeza de comunicação entre os mesmos.

B.2.4 tubo para injeção: Tubo por onde é injetada a calda.

B.2.5 respiro de injeção: Tubo para a saída de ar, água e calda.

B.3 Requisitos gerais

B.3.1 São objetivos das injeções com calda de cimento:

- a) assegurar a aderência mecânica entre as armaduras de protensão e o concreto na totalidade do cabo em questão, obtendo-se as condições estabelecidas no cálculo estrutural;
- b) garantir a proteção contra a corrosão, evitando a infiltração até os aços, de agentes corrosivos vindos do exterior, e constituindo um meio passivo sem elementos agressivos.

B.3.2 A injeção deve ser efetuada o mais rapidamente possível após protensão dos cabos. O prazo máximo recomendável entre a colocação em tensão e a injeção é de 15 dias.

B.3.3 O método de injeção escolhido (ver B.8.2 e B.8.3) deve garantir que as bainhas sejam totalmente preenchidas com calda.

B.3.4 Em peças protendidas especiais, sujeitas à agressividade do meio ambiente ou a correntes elétricas de fuga, fenômenos que aceleram o processo de corrosão, devem ser tomados cuidados adicionais para a proteção do aço.

B.3.5 Após a injeção, as peças não devem ser submetidas a esforços ou vibrações que possam vir a afetar a integridade da calda. Sempre que não se comprovar por meio de ensaios a garantia desta integridade, deve ser exigida uma resistência mínima da calda de 10 MPa, determinada conforme a ABNT NBR 7684, por ocasião da aplicação desses esforços ou vibrações.

B.4 Estudos prévios da calda

B.4.1 Programa de injeção

B.4.1.1 O programa de injeção deve ser elaborado para estabelecer alguns parâmetros da operação de injeção, tais como: características de injetabilidade da calda, pressão máxima admissível de injeção e sequência de cabos a serem injetados. Esses parâmetros são estabelecidos em função da concepção do projeto, das disposições construtivas, das condições climáticas e dos equipamentos disponíveis na obra.

B.4.1.2 A calda deve apresentar fluidez adequada durante tempo que confira segurança à operação de injeção, desde sua fabricação e eventual armazenagem, até a conclusão da etapa de injeção.

B.4.1.3 O valor máximo do índice de fluidez deve ser fixado considerando-se o diâmetro e área livre no interior da bacia, rugosidade na parede da bacia, pressões admissíveis de injeção e eventuais resultados dos ensaios de injeção em cabos-teste (ver B.4.4), porém sem exceder 18 s, de acordo com o estabelecido na ABNT NBR 7681.

B.4.1.4 A vida útil da calda deve ser estimada em função do tempo de duração da mistura, eventual armazenagem (ver B.5.2.5) e execução da etapa de injeção. O tempo de duração de uma determinada etapa é estimado, conhecendo-se o volume do cabo ou da família de cabos a serem injetados, velocidade de injeção e quantidade de equipamentos de injeção. A vida útil de uma calda é determinada conforme a ABNT NBR 7685.

B.4.2 Ensaios de laboratório

B.4.2.1 As caldas devem ter suas características estudadas em laboratório, de maneira a comprovar que as condições exigíveis são satisfeitas. O intervalo do tempo decorrido entre o início dos ensaios e o início da injeção dos cabos não deve ultrapassar 6 meses, devendo os resultados dos ensaios realizados estarem disponíveis por ocasião dos ensaios de campo.

B.4.2.2 Os ensaios de laboratório devem ser efetuados com cimento e aditivos (se utilizados) de mesmo tipo, classe, marca e procedência dos que se prevê utilizar na injeção. Os materiais utilizados na fabricação da calda devem obedecer ao disposto na ABNT NBR 7681.

NOTA Para diminuir o índice de fluidez e aumentar a vida útil da calda, além de aditivos, pode ser utilizada água gelada. No caso da adição de gelo à água para baixar sua temperatura, devem ser atendidos os requisitos especificados para a água de fabricação da calda.

B.4.2.3 A calda deve obedecer ao disposto na ABNT NBR 7681 e ao disposto em B.4.1.

B.4.2.4 A ordem de introdução dos diversos componentes da calda e o tempo necessário para sua mistura devem ser determinados nos ensaios de laboratório e confirmados nos ensaios de campo especificados em B.4.3.

B.4.2.5 As temperaturas ambientes e dos materiais constituintes da calda, por ocasião do ensaio de laboratório, devem ser semelhantes às temperaturas que ocorrem por ocasião da operação de injeção.

NOTA A temperatura do cimento por ocasião da fabricação da calda deve ser inferior a 40°C.

B.4.2.6 Ensaios de laboratório recentes (período de tempo ≤ 6 meses) realizados para uma outra obra com os mesmos materiais e equipamentos, em condições climáticas semelhantes, podem ser aceitos se as características da calda obtida na dosagem experimental satisfizerem os requisitos exigidos para a calda em estudo.

B.4.2.7 Os componentes da calda devem ser misturados conforme especificado em B.5.2.

B.4.2.8 O laboratório deve emitir um relatório contendo, para cada calda estudada, as seguintes informações:

- a) obra;
- b) responsável pelos ensaios;
- c) data de realização dos ensaios;
- d) traço em massa;
- e) tipo, classe, procedência, lote e marca dos materiais, resultados dos ensaios dos cimentos, aditivos e água a serem utilizados na execução das injeções;
- f) temperatura ambiente dos materiais e da calda, por ocasião de cada ensaio;
- g) tempo, velocidade e volume de mistura da calda;
- h) seqüência e intervalo de tempo para a introdução dos materiais;
- i) resultados dos ensaios de:
 - índice de fluidez, de acordo com a ABNT NBR 7682;
 - vida útil, de acordo com a ABNT NBR 7685;
 - índices de exsudação e expansão (quando for utilizado aditivo expensor), de acordo com a ABNT NBR 7683;
 - resistência à compressão, de acordo com a ABNT NBR 7684.

B.4.3 Ensaios de campo

B.4.3.1 Os ensaios de campo visam determinar qual a dosagem resultante dos ensaios de laboratório que conduz a resultados mais adequados sob as condições de campo, tais como equipamentos de mistura e condições climáticas. Para a execução dos ensaios, deve ser levado em conta o horário da execução dos serviços de injeção.

B.4.3.2 Os ensaios de campo devem ser efetuados em um prazo máximo de duas semanas antes do início das injeções.

B.4.3.3 A quantidade de material usada na composição de cada mistura e a fabricação da calda devem obedecer ao disposto em B.5.2.

B.4.3.4 Nos ensaios de campo devem ser determinados o índice de fluidez, a vida útil, os índices de exsudação e expansão (caso utilizado aditivo expensor) da calda em estudo, conforme métodos de ensaio citados em B.4.2.8. Os resultados são julgados satisfatórios se os índices de fluidez dos ensaios de campo e laboratório não diferem entre si de ± 3 s e estiverem compreendidos entre 8 s e 18 s. O índice de exsudação deve ser sempre inferior a 2% e o de expansão total livre deve ser no máximo 7%.

NOTA Para a verificação do correto desempenho do funil Marsh, deve-se realizar o ensaio da ABNT NBR 7682 utilizando água e obedecendo a um resultado de 6s.

B.4.4 Ensaios de injeção em cabos-teste

B.4.4.1 O responsável pela obra pode exigir a execução de alguns ensaios de injeção em cabos-teste em escala real.

B.4.4.2 O ensaio deve reproduzir, da melhor maneira possível, todas as condições nas quais os cabos de protensão se encontram na estrutura real.

B.4.4.3 A operação de injeção de cabos-teste deve ser realizada com um esquema perfeitamente definido, a fim de se poder controlar posteriormente qual foi a importância de cada parâmetro.

B.4.4.4 Após a injeção, as bainhas devem ser seccionadas transversalmente em vários pontos para permitir observar a qualidade do preenchimento e oferecer subsídios para a correção de eventuais defeitos detectados.

B.5 Fabricação da calda

B.5.1 Equipamentos utilizados

B.5.1.1 Misturador

B.5.1.1.1 O misturador deve produzir uma calda de consistência homogênea e coloidal, dispersando e defloculando perfeitamente o cimento.

B.5.1.1.2 O misturador deve ser a hélice, rolos ou turbina.

NOTA Misturadores manuais não são permitidos.

B.5.1.1.3 O motor do misturador deve ter potência de aproximadamente 1 HP por saco de cimento a ser misturado.

B.5.1.1.4 A velocidade de rotação do misturador deve ser superior a 1 000 rpm. A velocidade máxima de qualquer uma das partes do misturador dentro da calda não pode exceder 15 m/s.

B.5.1.2 Recipiente de recepção e estocagem da calda

B.5.1.2.1 A calda, logo após fabricada, deve escoar para o recipiente de recepção e estocagem, onde deve permanecer continuamente em movimento, inclusive durante a operação de injeção. Recomenda-se que a velocidade de rotação do agitador desse recipiente esteja compreendida entre 60 rpm e 160 rpm.

NOTA Em hipótese alguma pode ser acrescentada água nesse recipiente.

B.5.1.2.2 Antes de entrar nesse recipiente, a calda deve ser passada pela peneira com abertura de malha de 2,36 mm, de acordo com a ABNT NBR NM-ISO 3310-1, para que sejam retidos eventuais grumos. A peneira deve ser acessível para permitir inspeção e limpeza periódicas.

B.5.1.2.3 O recipiente deve ter capacidade para armazenar um volume de calda que permita a injeção total do cabo, ou da família de cabos, sem interrupções e respeitando a velocidade de injeção especificada em B.5.1.3.3.

NOTA Na estimativa do volume a ser armazenado, deve-se considerar as perdas citadas em B.8.2.7.

B.5.1.3 Bomba de injeção

B.5.1.3.1 Deve ser elétrica, do tipo pistão ou a parafuso, e não deve injetar ar na calda. O uso de ar comprimido não é permitido.

B.5.1.3.2 Deve ser capaz de exercer pressões de pelo menos 1,5 MPa e deve-se garantir que a pressão não ultrapasse 2,0 MPa.

NOTA Pressões mais elevadas podem ser necessárias para injeção de cabos verticais ou inclinados com grande desnível.

B.5.1.3.3 Deve ser munida de um dispositivo de regulação de vazão, para controlar a velocidade de avanço da calda. A velocidade de injeção do cabo deve estar compreendida entre 6 m/min e 12 m/min.

B.5.1.3.4 Deve possuir manômetro aferido a cada três meses, com precisão de 0,1 MPa.

B.5.1.3.5 Deve permitir que as pressões altas sejam obtidas progressivamente e que seja possível a manutenção da pressão no fim da injeção.

B.5.1.3.6 As tubulações de injeção, mangueiras, válvulas e conexões não podem permitir a entrada de óleo, ar, água, ou quaisquer outras substâncias durante a injeção e devem também resistir às pressões estabelecidas em B.5.1.3.2.

B.5.1.3.7 De maneira geral, a tubulação entre a bomba de injeção e o cabo a ser injetado deve ser a mais curta possível.

B.5.2 Mistura dos componentes da calda

B.5.2.1 A quantidade de material que compõe cada mistura deve ser compatível com o tipo do misturador, com o volume de seu reservatório e com a potência de seu motor.

B.5.2.2 A seqüência e o intervalo de tempo de introdução dos diversos componentes da calda e o tempo total de sua mistura devem ser os mesmos estabelecidos nos ensaios prévios (ver B.4.2 e B.4.3). O tempo de mistura não pode exceder 4,0 min (a menos que seja comprovada, através dos ensaios prévios, melhoria das qualidades da calda), e deve ser contado a partir da adição de todo o cimento à água, esta já contida no recipiente do misturador.

NOTA Os tempos de mistura devem ser controlados, utilizando-se cronômetros com precisão de 0,5 s.

B.5.2.3 A mistura da calda deve ser feita como especificado a seguir:

- a) introduzir a água no reservatório do misturador;
- b) acionar o misturador e, com ele em movimento, adicionar o cimento o mais rápido possível, porém sem permitir o ingresso de grandes massas;
- c) manter o misturador em movimento, até perfazer o tempo de mistura determinado previamente.

B.5.2.4 No caso de utilização de aditivo(s) na fabricação da calda, recomenda-se que seja adotada a seguinte seqüência: introduzir a água no reservatório, adicionar o cimento e misturá-lo durante aproximadamente 1,5 min, adicionar o(s) aditivo(s), continuar a mistura até perfazer o tempo determinado. Outra alternativa pode ser utilizada, desde que sua eficiência seja comprovada nos ensaios prévios.

NOTA Após a introdução da água no reservatório, o misturador deve ser acionado e a mistura não pode ser interrompida, até perfazer o tempo total determinado nos ensaios prévios.

B.5.2.5 Deve ser armazenado, no recipiente de recepção e estocagem da calda (ver B.5.1.2), volume de calda suficiente para permitir a conclusão de uma etapa de injeção sem interrupções. Caso não seja possível armazenar esse volume, deve haver sincronismo na fabricação e injeção da calda, de forma a evitar interrupções na operação de injeção.

B.5.2.6 A calda fabricada deve ser inspecionada conforme ABNT NBR 7681.

B.6 Disposições construtivas para facilitar a injeção

B.6.1 Bainhas

As bainhas devem obedecer ao disposto no anexo A.

B.6.2 Tubos para injeção e respiros

B.6.2.1 Devem ser de plástico ou outro material flexível e possuir diâmetro interno mínimo de 12 mm e espessura de parede suficiente para resistir às pressões estipuladas em B.5.1.3.2.

NOTA Dependendo das características do projeto e dos procedimentos adotados para compensar a exsudação da calda, o valor de 12 mm deve ser aumentado.

B.6.2.2 Devem ser instalados com a saída para cima.

B.6.2.3 Devem ter comprimento, sobressaindo da superfície do concreto, de no mínimo 30 cm.

B.6.2.4 Deve ser prevista a utilização de dispositivo que permita o fechamento rápido e assegure a manutenção das pressões estabelecidas em B.5.1.3.2.

B.6.2.5 A concordância e a vedação das bainhas com os tubos e respiros devem ser asseguradas.

B.6.2.6 O tubo para injeção deve ser instalado no ponto mais baixo do cabo e nas ancoragens. Se o ponto mais baixo do cabo estiver com desnível inferior a 2 m em relação à extremidade mais baixa do cabo, a injeção pode ser efetuada por essa extremidade.

B.6.2.7 Os respiros devem ser instalados:

- a) em todos os pontos altos do traçado do cabo, desde que haja desnível superior a 30 cm, ou em locais onde bolsas de ar possam ocorrer;
- b) na extremidade mais alta do cabo;
- c) eventualmente em pontos intermediários, sempre que a distância entre respiro exceder 30 m;
- d) em todas as ancoragens ativas e passivas.

B.6.2.8 Respiros adicionais devem ser instalados, adequadamente posicionados, no caso de ser prevista a injeção complementar especificada em B.8.3.2.

B.6.2.9 Os respiros e tubos de injeção devem ser identificados com os respectivos cabos.

B.6.3 Cuidados com a concretagem

Os cuidados que devem ser tomados antes, durante e após a concretagem das peças estão especificados no anexo A.

B.7 Procedimentos prévios às operações de injeção

B.7.1 Corte das cordoalhas e vedação das ancoragens

B.7.1.1 Após a protensão, o aço deve ser cortado por procedimento estabelecido no anexo A.

B.7.1.2 Após o corte do aço de protensão, deve ser efetuada a vedação de todas as aberturas das peças componentes da ancoragem, do seu contato com a estrutura e com o aço de protensão e, no caso de

cordoalhas, a extremidade das mesmas, de forma a não haver vazamentos de calda durante a operação de injeção, salvo o caso citado em B.8.3.2-a).

B.7.1.3 A vedação das ancoragens pode ser feita:

- a) com massa epóxida;
- b) com preenchimento do nicho com concreto ou argamassa, antes da operação de injeção.

NOTAS

1 Em ambos os casos as vedações devem atingir resistência suficiente para suportar as pressões resultantes da operação de injeção. Não são admitidos materiais que contenham elementos prejudiciais ao aço de protensão.

2 A vedação citada em B.7.1.3-a) oferece duas vantagens:

- a) a injeção pode ser feita logo após a protensão do cabo;
- b) nenhum vestígio dos tubos e respiros de injeção das ancoragens fica visível.

B.7.1.4 No caso de se utilizar o método de injeção especificado em B.8.3.2-a), as cordoalhas das ancoragens devem ser cortadas de forma a possuir um comprimento excedente da ordem de 20 cm, e a vedação dessa ancoragem deve ser efetuada conforme especificado na referida seção. Após a injeção do cabo, as cordoalhas deixadas salientes devem ser cortadas, procedendo-se então a um preenchimento do nicho com concreto ou argamassa.

B.7.2 Lavagem dos cabos e eliminação da água

B.7.2.1 Antes da injeção, os cabos devem ser lavados por meio de circulação de água limpa. A água deve ser injetada através do tubo de injeção, posicionado conforme especificado em B.6.2.6. A injeção deve prosseguir até que a água que sai pelos respiros esteja perfeitamente limpa.

NOTA Em caso de temperatura ambiente elevada, pode ser utilizada água com baixa temperatura no último estágio de operação de lavagem.

B.7.2.2 Após a lavagem, deve ser verificada a estanqueidade do sistema. Para isso, todos os respiros devem ser fechados e deve ser verificado se a pressão de água, igual à pressão de trabalho prevista na injeção de calda acrescida de 0,1 MPa, se mantém constante durante pelo menos 2 min.

NOTA Caso seja observada comunicação irreparável entre bainhas, estas devem ser injetadas simultaneamente.

B.7.2.3 A água de lavagem dos cabos deve ser expulsa por meio de injeção com ar comprimido isento de partículas de óleo.

B.8 Operação de injeção

B.8.1 Condições necessárias

Para a obtenção de uma injeção adequada, além de todos os procedimentos, precauções e disposições construtivas anteriormente citadas, são necessárias, para se evitar quaisquer improvisações, as condições descritas em B.8.1.1 a B.8.1.6.

B.8.1.1 Dispor uma equipe com número suficiente de pessoas familiarizadas com os trabalhos de injeção e controle de caldas, e de meios de comunicação entre as várias frentes de trabalho, para acompanhamento de todo o desenrolar das operações.

B.8.1.2 Os elementos constituintes da equipe devem ter conhecimento dos seguintes itens:

- a) características dos equipamentos utilizados (velocidade do misturador e pressão máxima admissível de injeção);
- b) composição da calda (ordem de introdução dos materiais e tempo de mistura);
- c) ordem de injeção das bainhas;
- d) seqüências operacionais.

B.8.1.3 Dispor, no local de trabalho, de todos os equipamentos necessários para fabricação, injeção e controle da calda em bom estado e prontos para funcionar.

B.8.1.4 Dispor, no local e trabalho, dos materiais necessários à fabricação da calda, conforme os definidos nos ensaios prévios e em quantidades suficientes para se efetuar a etapa de injeção sem interrupção.

B.8.1.5 Os respiros devem estar desobstruídos e em bom estado.

B.8.1.6 Dispor de água sob pressão e ar comprimido (isento de partículas de óleo) durante todo o prazo previsto para a operação de injeção.

B.8.2 Injeção

B.8.2.1 A operação de injeção deve ter início logo após a lavagem do cabo. Nos casos em que possa ocorrer retenção excessiva de água entre as cordoalhas e que não haja necessidade de resfriamento das bainhas, deve ser observado um intervalo de tempo de aproximadamente 24 h para nova expulsão da água com ar comprimido.

B.8.2.2 Em locais de temperatura elevada, recomenda-se efetuar as operações de injeção pela manhã.

B.8.2.3 A injeção deve ser efetuada através de tubo de injeção, posicionado conforme especificado em B.6.2.6.

B.8.2.4 A injeção deve ser contínua, regular, com pressão inferior ou igual à pressão estipulada em B.5.1.3.2 e com a velocidade especificada em B.5.1.3.3.

B.8.2.5 A calda de injeção deve ser controlada conforme ABNT NBR 7681. Durante a injeção, devem ser verificadas também a evolução da pressão da bomba de injeção, que deve aumentar progressivamente, e o volume de calda que está sendo injetado.

NOTA Qualquer anomalia observada através dessas verificações pode provir de uma fuga de calda ou de entupimento da bainha.

B.8.2.6 Os diversos respiros de uma mesma bainha só podem ser fechados quando for assegurado que a calda que por eles flui é semelhante àquela injetada e não contém mais ar aprisionado.

B.8.2.7 A verificação das características da calda que flui dos respiros intermediários pode ser feita visualmente, mas a verificação da calda que flui no último respiro do cabo deve ser feita conforme especificado na ABNT NBR 7681.

NOTA Para essas verificações deve-se deixar escoar pelos respiros uma certa quantidade de calda. Este volume adicional que é perdido, deve ser considerado quando da estimativa do volume a ser armazenado para a injeção.

B.8.2.8 Logo após o fechamento de todos os respiros, deve-se manter a calda com a pressão de trabalho acrescida de 0,1 MPa, durante pelo menos 30 s.

B.8.3 Procedimentos para compensar a exsudação da calda

B.8.3.1 Qualquer procedimento utilizado para compensar a exsudação da calda deve visar o preenchimento total da bainha com calda.

B.8.3.2 Para compensar a exsudação da calda deve ser adotada uma das metodologias a seguir:

- expulsão da água através de cordoalhas, conforme esquematizado na figura B.1 (efeito “chaminé”). Após o controle da calda injetada (ver B.8.2.7) e fechamento do respiro da ancoragem, a pressão de injeção deve ser elevada lentamente, procedendo-se à expulsão da água. O efeito “chaminé” só deve ser interrompido quando houver estabilização da pressão aplicada, sendo que o volume de água deve ser superior ao previsto, considerando-se o resultado do ensaio de exsudação;

NOTA O efeito de “chaminé” deve ser, sempre que possível, utilizado em ambas as extremidades.

- preenchimento posterior do vazio, através de uma injeção complementar com calda, conforme esquematizado nas figuras B.2, B.3 e B.4.

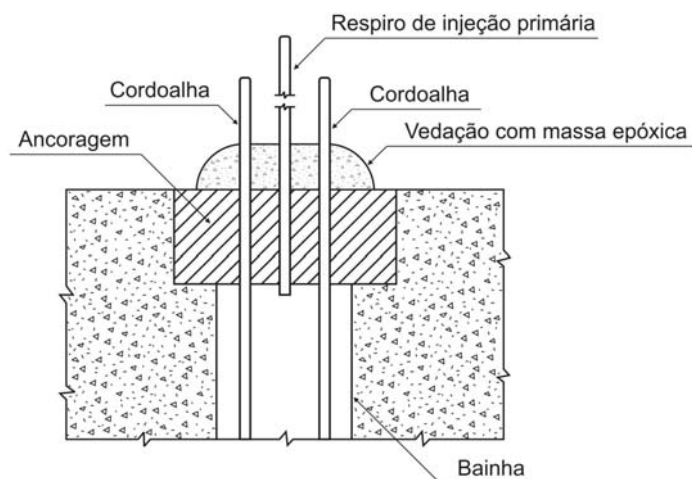


Figura B.1 — Exemplo de expulsão da água de exsudação da calda de cimento pelas cordoalhas

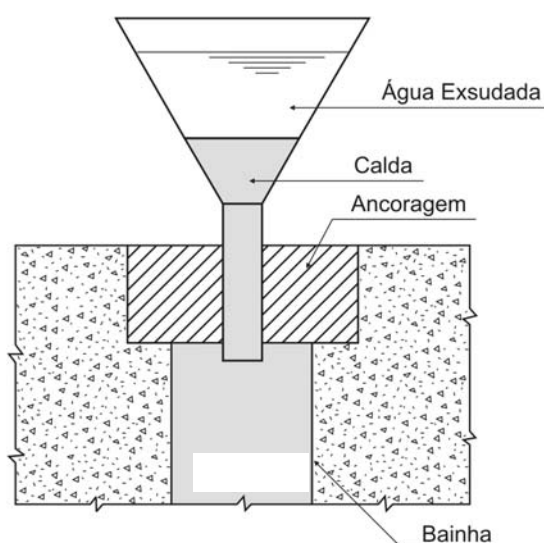


Figura B.2 — Exemplo de expulsão da água de exsudação por injeção complementar com calda de cimento

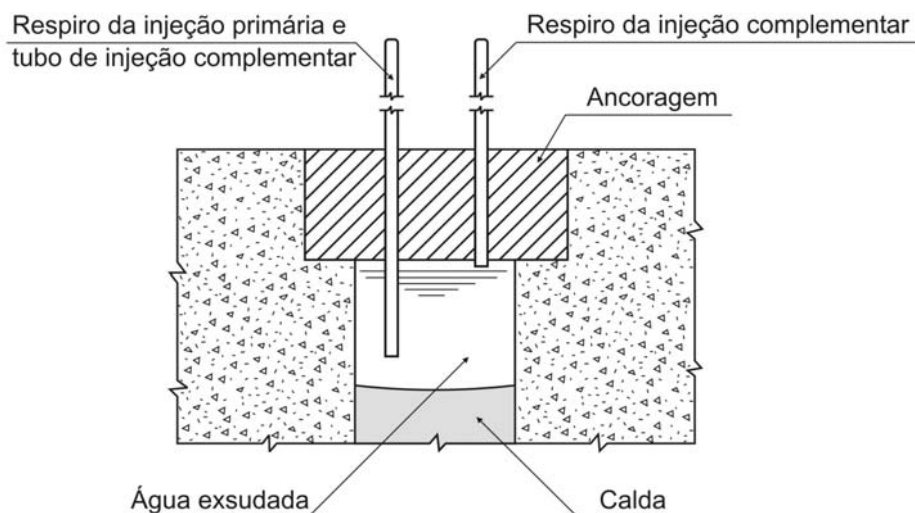


Figura B.3 — Exemplo de expulsão da água de exsudação por injeção complementar com calda de cimento

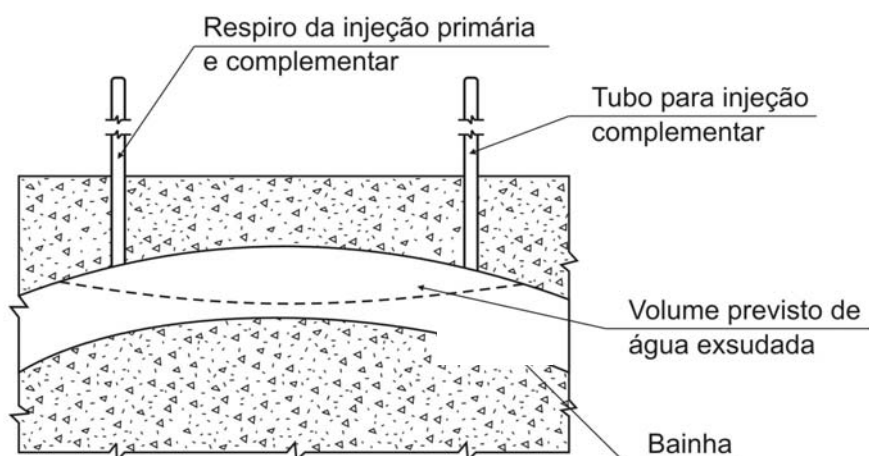


Figura B.4 — Exemplo de expulsão da água de exsudação por injeção complementar com calda de cimento

B.8.3.3 As injeções complementares, citadas em B.8.3.2-b), devem ser efetuadas logo após o início de pega da calda da injeção primária. De forma a possibilitar essa injeção complementar, os respiros devem ser desobstruídos após decorridos cerca de 15 min do término da injeção primária. A calda utilizada na injeção complementar deve apresentar as mesmas características que a calda utilizada na injeção primária.

B.8.3.4 Caso seja utilizada calda com aditivo expansor para compensar o efeito de sua exsudação, o tempo decorrido entre a fabricação da calda e o fechamento dos respiros da bacia deve ser tal que pelo menos 70% da expansão total livre da calda ocorra dentro da bacia. A expansão assim obtida deve ser superior ao valor da exsudação.

NOTA A conveniência da utilização de aditivo expansor contendo pó de alumínio deve ser ponderada pelo engenheiro responsável pela obra, através de consultas a especialistas e garantia dos fabricantes dos aditivos expansores do cumprimento de 4.3 da ABNT NBR 7681:1983.

B.8.4 Proteção final das ancoragens

B.8.4.1 Decorridas 24 h do término da injeção e após verificação do completo preenchimento do tubo e respiros de injeção, estes devem ser cortados cuidadosamente.

B.8.4.2 Todas as ancoragens e respiros devem ser protegidos com concreto ou argamassa, sendo que nos locais onde é passível a ação de água ou agentes agressivos é obrigatório o uso de material epóxico para sua vedação e proteção.

B.9 Registro de dados

Para cada cabo, ou família de cabos injetados simultaneamente, devem ser efetuados os seguintes registros durante a injeção:

- a) data e hora de início e término de cada injeção;
- b) composição dos materiais e da calda;
- c) temperatura ambiente dos materiais e da calda;
- d) pressões manométricas da bomba durante a injeção;
- e) volume injetado, a ser comparado com o volume teórico de vazio do cabo;
- f) índices de fluidez na entrada e saída das bainhas;
- g) características dos equipamentos citados em B.5.1;
- h) registro de qualquer anomalia.

B.10 Acidentes de injeção

Na ocorrência de qualquer acidente durante a operação de injeção, devem ser tomadas as providências para sua correção, devendo o fato ser devidamente registrado.

Anexo C (normativo)

Execução da protensão em concreto protendido sem aderência

C.1 Objetivo

Este anexo tem por objetivo fixar as condições exigíveis para execução da protensão em obras de concreto protendido sem aderência.

C.2 Definições

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as seguintes definições:

C.2.1 armadura de protensão sem aderência: Conjunto de cabos confeccionados conforme especificação de projeto destinado a geração das forças de protensão.

C.2.2 ancoragem: Dispositivo capaz de manter o cabo em estado de tensão, transmitindo a força de protensão ao concreto ou ao elemento estrutural.

C.2.3 ancoragem ativa: Ancoragem na qual se promove o estado de tensão no cabo, através do equipamento de protensão.

C.2.4 ancoragem passiva: Dispositivo embutido no concreto, destinado a fixar a extremidade do cabo oposta àquela da ancoragem ativa.

NOTA Embora de configuração análoga àquela da ancoragem ativa, pode ou não permitir acesso para operação de protensão e possibilitar verificação do grau de protensão e a eventual ocorrência de deslizamentos.

C.2.5 ancoragem morta: Dispositivo imerso no concreto, destinado a fixar a extremidade do cabo oposta àquela da ancoragem ativa. Esta ancoragem não permite acesso para operação e verificação do grau de protensão e da eventual ocorrência de deslizamento.

C.2.6 cabo: Conjunto formado pelas cordoalhas e seus dispositivos complementares, como ancoragens, tubos, fôrmas plásticas para nichos etc.

C.2.7 fretagem: Armadura passiva (frouxa) destinada a resistir às tensões locais de tração no concreto. Transmitidas pelas ancoragens (ativas e mortas).

C.2.8 bainha ou capa de polietileno de alta densidade (PEAD): Revestimento individual da cordoalha que garante estanqueidade da cordoalha e da graxa durante a concretagem.

C.2.9 suporte ou cadeirinha: Dispositivo utilizado para manter o cabo na posição de projeto.

C.2.10 operação de protensão: Ato de aplicar força de tração no cabo de protensão, sob condições previamente especificadas.

C.2.11 operação de cravação: Ato de fixar o cabo à ancoragem ativa, após o tensionamento do cabo.

C.2.12 operação de reprotensão: Compreende a execução de operação de protensão em cabo já protendido.

C.2.13 desprotensão: Ato de proceder, controladamente, à diminuição de tensão de cabo já protendido.

C.2.14 perda por acomodação da ancoragem: Perda de alongamento prevista e previamente determinada, para cada tipo de ancoragem, que ocorre durante a operação de cravação.

C.2.15 deslizamento: Movimento não desejável entre a armadura de protensão e a ancoragem.

C.2.16 zona de ancoragem: Região de uma peça de concreto onde se situam as ancoragens, especialmente reforçada, para atender aos esforços locais que aí se manifestam.

C.3 Requisitos gerais

C.3.1 A execução do concreto protendido exige o conhecimento completo e a experiência desse tipo de obra. Deve o proprietário da obra comprovar e assegurar-se da experiência e da capacidade dos engenheiros e dos técnicos que dela participam, assim como da qualidade e da eficiência dos materiais, dos equipamentos e dos métodos utilizados.

C.3.2 O engenheiro ou técnico especializado deve estar presente durante a execução das etapas da obra relacionadas com a execução da protensão.

C.4 Materiais

C.4.1 Aços para armadura de protensão

C.4.1.1 Devem satisfazer os requisitos da ABNT NBR 7483.

A tabela C.1 apresenta, de maneira orientativa, as massas do conjunto da cordoalha CP190 RB mais graxa mais capa plástica de PEAD para protensão não aderente.

Tabela C.1 — Massa aproximada em função do diâmetro nominal da capa

Diâmetro nominal da capa mm	Massa aproximada do conjunto (cordoalha + capa + graxa) kg/km
15	880
18	1 240

C.4.1.2 Devem ser tomados os cuidados necessários à manutenção da integridade física do produto durante a manipulação e estocagem. Em particular, quanto à perda da proteção de graxa mais capa.

C.4.1.3 Caso seja indispensável a execução de solda próximo aos aços para armadura de protensão, deve ser usada proteção que garanta a integridade dos mesmos.

C.4.1.4 O aço deve ser estocado sobre o piso, ou pranchado de madeira, distando pelo menos 0,30 m do solo. Os cuidados para armazenamento devem aumentar em função de tempo de permanência do aço em estoque e das condições do ambiente. Recomenda-se que o aço seja estocado na embalagem original do fornecedor. Os cabos não devem ser mantidos sob o sol por mais de três meses para evitar danificação da capa plástica, a menos que o fabricante do mesmo garanta proteção anti-rajais ultravioleta na composição da capa.

C.4.2 Capas PEAD

C.4.2.1 As capas que revestem individualmente as cordoalhas devem ser de polietileno PEAD com espessura de parede mínima de 1 mm e ter seção circular com diâmetro interno que permita o livre movimento da cordoalha em seu interior.

C.4.2.2 As capas devem ser duráveis e resistentes aos danos provocados por manuseio no transporte, instalação, concretagem e tensionamento, bem como ser também impermeáveis.

C.4.2.3 A graxa de proteção anticorrosiva e lubrificante deve ter característica de não ataque ao aço (cordoalha) tanto no estado de repouso como no estado limite característico de tensão desse aço.

C.4.3 Ancoragens

Devem seguir as especificações do sistema de protensão adotado. As fixações das ancoragens nas formas devem ser capazes de garantir o seu correto posicionamento, durante todas as operações de montagem e concretagem.

C.5 Confeção dos cabos

C.5.1 Todo o aço deve ser inspecionado antes de ser empregado. Se por qualquer razão (como, por exemplo, armazenamento ou manuseio inadequados) houver dúvidas sobre a qualidade do aço, este deve ser submetido a novos ensaios para a comprovação de suas características mecânicas originais.

C.5.2 Os cabos devem ser confeccionados em local adequado, sem contato com o solo ou agentes que possam vir a danificá-los. O conjunto cordoalha + capa + graxa deve ser preservado nas proporções do fabricante. Caso ocorra pequeno rompimento na capa, a vedação poderá ser recomposta isolando-se o local com fita plástica ou fita crepe.

C.5.3 O aço deve ser cortado de acordo com o comprimento indicado no projeto, tomando-se o cuidado de verificar se neste já estão incluídos os comprimentos necessários para fixação dos equipamentos de protensão. O aço deve ser cortado por meio de disco esmeril rotativo ou tesoura.

C.5.4 É vedado efetuar no elemento tensor o endireitamento através de máquinas endireitadoras ou qualquer outro processo de eliminar torções ou dobramentos, pois esses procedimentos alteram as propriedades físicas do aço.

C.5.5 Durante ou após a confecção, os cabos não devem, em hipótese alguma, ser arrastados sobre o solo ou sobre superfícies abrasivas, não devendo ainda sofrer dobramentos ou torções que neles possam introduzir defeitos ou deformações permanentes.

C.5.6 O processo de confecção dos cabos deve prever métodos de marcação e documentação adequada, de modo a garantir a identificação de todo o material utilizado.

C.6 Montagem dos cabos

C.6.1 Instalação dos cabos

O procedimento e os detalhes para instalação dos cabos devem ser estabelecidos em função do sistema de protensão adotado, do tipo de obra e de entendimentos havidos entre o contratante e o projetista.

C.6.2 Dados necessários

Para a perfeita definição da posição dos cabos e das ancoragens, o projetista deve informar os seguintes dados:

- a) cotas verticais e horizontais dos eixos dos cabos em relação ao elemento estrutural, espaçadas a cada metro;
- b) ângulo de saída dos cabos na região das ancoragens;

- c) cotas verticais e horizontais dos pontos de concordância, de mudanças de curvatura e de cruzamento dos cabos;
- d) raios de curvatura quando houver trechos circulares;
- e) numeração dos cabos nas vistas, nos cortes longitudinais e transversais;
- f) desvio admissíveis nas medidas.

C.6.3 Cuidados na montagem

Cuidados especiais devem ser tomados durante o posicionamento dos cabos na forma, no sentido de garantir a sua colocação nas posições estabelecidas no projeto, assim como a sua manutenção nestas posições durante as operações de concretagem, cumprindo salientar:

- a) localizar os cabos em relação à fôrma, segundo o projeto;
- b) fixar os cabos em suas posições, mediante o uso de travessas fixadas às armaduras passivas, ou através do uso de suportes (cadeirinhas) independentes especiais que se fizerem necessários;
- c) o espaçamento dos suportes (cadeirinhas) deve ser suficiente para resistir às cargas durante a montagem dos cabos e concretagem da peça, bem como impedir deslocamentos;
- d) verificar se os estribos ou os suportes são capazes de suportar os cabos sem flambar;
- e) verificar se os pontos de suporte oferecem uma superfície adequada de contato com os cabos, de maneira a evitar mossas, rasgos ou outros danos. Devem também possibilitar fixação que evite possíveis deslocamentos horizontais ou verticais;
- f) fixar as ancoragens à fôrma de maneira a não permitir deslocamentos durante os trabalhos subseqüentes ou penetrações de argamassa no interior dos cabos;
- g) revestir com fita plástica todas as regiões onde ocorrem cortes, rasgos ou danos na capa de PEAD, para não ocorrer perda de graxa e contato da cordoalha com o concreto;
- h) verificar o posicionamento do trecho do cabo próximo à ancoragem, que deve ser rigorosamente assegurado, conforme especificação do sistema de protensão.

C.7 Concretagem

C.7.1 Plano de concretagem

A operação de concretagem deve obedecer a um plano de concretagem previamente estabelecido, conforme prescrito na seção 9.

C.7.2 Cuidados antes da concretagem

Imediatamente antes da concretagem, todos os cabos e seus suportes devem ser inspecionados para se detectar eventuais defeitos, tais como desalinhamentos no traçado dos cabos, mossas, rupturas, orifícios ou deficiências de rigidez ou vedação na capa PEAD.

C.7.3 Cuidados durante a concretagem

C.7.3.1 O concreto deve possuir trabalhabilidade e diâmetro máximo do agregado compatíveis com o espaçamento dos cabos, ancoragens e armaduras passivas. Em certos casos é necessário que a obra

disponha de um traço de concreto de igual resistência e de características especiais, para ser utilizado nas regiões de maior concentração (como, por exemplo, na região das ancoragens).

C.7.3.2 A equipe que executa a concretagem deve ter conhecimento das posições onde devem ser introduzidos os vibradores, para que estes não danifiquem os cabos.

NOTA Para os casos que haja congestionamentos de cabos e não haja segurança na utilização de vibradores de imersão, deve-se utilizar outros meios que garantam a qualidade da concretagem.

C.7.3.3 O diâmetro dos vibradores deve ser compatível com os espaçamentos entre cabos e a fôrma.

C.7.4 Cuidados após a concretagem

C.7.4.1 No sentido de evitar sua deterioração e manter a limpeza, as extremidades dos cabos devem ser protegidas das intempéries por meios adequados, não se permitindo também dobramentos com curvaturas excessivas e pontos angulosos.

C.7.4.2 No caso de execução de obras em ambientes com temperatura elevada, ou em caso de utilização de cura térmica, as implicações desses efeitos térmicos devem ser levadas em conta pelo projetista, principalmente porque o gradiente térmico da peça deve permanecer abaixo do ponto de gota da graxa.

C.8 Operação de protensão

C.8.1 Dados necessários

Os dados necessários são os seguintes:

- a) desenho de locação das peças e desenhos de cablagem;
- b) ensaios de aço utilizado com determinação da seção transversal e do módulo de elasticidade (ver A.8.1-b);
- c) tabelas de controle de fabricação dos cabos, relacionando-os com os ensaios dos aços utilizados para sua confecção;
- d) plano de protensão;
- e) características dos equipamentos que são utilizados na obra (área do pistão de tensão e curso dos macacos de protensão, perda de tensão por atrito no conjunto bomba-macaco-ancoragem), além de dados necessários à instalação e manipulação dos equipamentos.

C.8.2 Plano de protensão

As operações de protensão devem obedecer ao plano de protensão fornecido pelo projetista, o qual deve indicar seguintes dados:

- a) designação do aço conforme ABNT NBR 7483;
- b) módulo de elasticidade e seção transversal do aço considerado em projeto;
- c) valor da perda por acomodação da ancoragem;
- d) coeficiente do atrito cabo-capa engraxada;
- e) coeficiente de perdas devido às ondulações parasitas;
- f) resistência mínima do concreto, necessária para o início das operações de protensão;

- g) fases de protensão (em relação à força total);
- h) seqüência de protensão dos cabos a serem protendidos em cada fase;
- i) comprimento teórico de cada cabo adotado no cálculo dos alongamentos;
- j) força de protensão a ser aplicada em cada cabo e seu respectivo alongamento teórico.

C.8.3 Providências preliminares à protensão

C.8.3.1 Projetar o escoramento de maneira a permitir a retirada das fôrmas laterais ou possibilitar a inspeção da estrutura. O escoramento e as fôrmas devem também permitir as deformações e rotações previstas das estruturas.

C.8.3.2 Efetuar o preparo de eventuais falhas de concretagem antes da protensão.

C.8.3.3 Proceder à limpeza, retirando todo o tipo de impurezas das extremidades dos cabos e das superfícies de apoio dos macacos e da cavidade da ancoragem onde será alojada a cunha.

C.8.3.4 Verificar se o concreto estrutural e eventuais reparos efetuados atingiram os valores de resistência previstos pelo projetista, devendo-se iniciar as operações de protensão somente com autorização e presença da fiscalização.

C.8.3.5 O equipamento de aferição, com certificado emitido por laboratório idôneo (a cada 12 meses), deve ser utilizado apenas para esse fim. Essa verificação deve-se repetir a cada 600 operações de protensão e quando houver dúvidas sobre a precisão do equipamento.

C.8.3.6 Preparar andaimes e dispositivos apropriados para a perfeita colocação e operação dos equipamentos de protensão.

C.8.3.7 Retirar os obstáculos que interfiram com a correta colocação e operação dos equipamentos.

C.8.3.8 Determinar as áreas de segurança e garantir a não permanência de pessoas durante as operações.

C.8.3.9 As extremidades dos cabos devem ser identificadas conforme nomenclatura dos desenhos de projeto.

C.8.4 Cuidados durante a operação de protensão

C.8.4.1 Verificar se a seqüência de protensão dos cabos está de acordo com o previsto no plano de protensão.

C.8.4.2 Instalar os macacos de protensão, perfeitamente ajustados na superfície de apoio da ancoragem, a fim de evitar o tensionamento desigual dos elementos componentes do cabo.

C.8.4.3 Marcar todas as cordoalhas junto às ancoragens ativas e passivas, a fim de detectar eventuais deslizamentos diferenciais.

C.8.4.4 A pressão nos equipamentos deve ter aplicação progressiva, sem a necessidade de paradas.

C.8.4.5 A referência para a medida dos alongamentos deve ser feita conforme os critérios da empresa de protensão.

C.8.5 Controle da protensão e interpretação desses controles

C.8.5.1 Para o controle da protensão, deve ser preparada para cada cabo uma planilha de protensão, onde devem constar pelo menos os seguintes dados:

- a) elemento da estrutura (vão, viga, laje etc.);
- b) número do cabo;
- c) tipo do cabo;
- d) tipo do equipamento de protensão;
- e) pressão manométrica teórica a aplicar;
- f) alongamento teórico total previsto, corrigido em função dos valores reais da seção transversal e do módulo de elasticidade, em relação ao previsto em C.8.2-b), mencionando se foi ou não diminuído do valor da perda por acomodação da ancoragem.

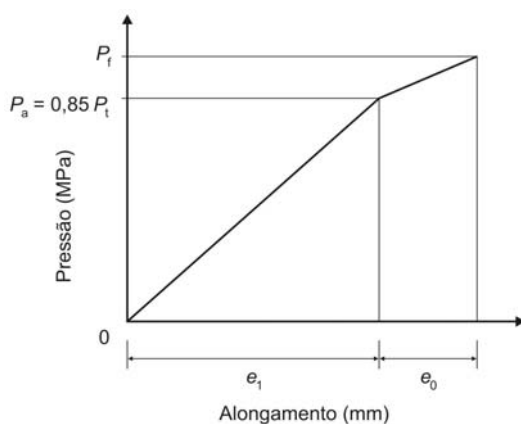
C.8.5.2 A critério da empresa da execução da protensão pode ser feito o controle das pressões manométricas parciais, correspondentes às etapas de tensionamento.

C.8.5.3 Se P_t for a pressão manométrica teórica de projeto a se obter no fim da operação de protensão, os alongamentos devem ser medidos diretamente até atingir a pressão final de cravação ou pelo processo seguinte:

- a) em um estágio de pressão correspondente a $0,85 P_t$ que serve de pressão de alerta (P_a);
- b) quando se atingir a pressão final de cravação (P_t).

C.8.5.4 O alongamento total deve ser composto de apenas duas parcelas, como mostra a figura C.1, correspondentes aos alongamentos medidos entre:

- a) P_0 (ponto zero) e $0,85 P_t$ (pressão teórica);
- b) $0,85 P_t$ (pressão teórica) e P_t (pressão final de cravação).



NOTA A parcela e_1 deve ser determinada fazendo referência em um ponto fixo da cordoalha ou no macaco; essa parcela já serve de pressão de alerta para a continuidade da operação de protensão, sendo:

$$e_{\text{tot}} = e_1 + e_0$$

onde:

e_{tot} é o alongamento total, em milímetros.

Figura C1 — Curva pressão-alongamento

C.8.5.5 Correção dos valores teóricos do alongamento total

Os valores calculados pelo projetista para o alongamento devem ser corrigidos em função dos módulos de elasticidade e seção transversal da seguinte forma:

$$k_{E_{\text{corr}}} = \frac{E_r}{E_t}$$

$$k_{S_{\text{corr}}} = \frac{S_r}{S_t}$$

onde:

k é uma constante de correção, obtida pela relação entre os valores reais e os valores teóricos adotados no cálculo;

$k_{E_{\text{corr}}}$ é a constante de correção do módulo de elasticidade do aço, para uma situação particular de protensão;

E_r é o módulo de elasticidade real, obtido em ensaio;

E_t é o módulo de elasticidade teórico considerado no projeto;

$k_{S_{\text{corr}}}$ é a constante de correção da área da seção transversal da armadura ativa, para uma situação particular de protensão;

S_r é a área real da seção transversal da armadura ativa;

S_t é a área teórica da seção transversal da armadura ativa, considerada no projeto;

Essas duas variáveis devem ser utilizadas para correção do alongamento teórico da seguinte forma:

$$e_{t_{\text{corr}}} = \frac{e_t}{k_{S_{\text{corr}}} k_{E_{\text{corr}}}}$$

onde:

$e_{t_{\text{corr}}}$ é o alongamento teórico corrigido, em milímetros;

e_t é o alongamento teórico definido no projeto, em milímetros.

C.8.5.6 Após a cravação deve ser feita comparação do alongamento total obtido com o alongamento teórico preestabelecido para o cabo, segundo as tolerâncias da ABNT NBR 6118, ou seja, na falta de indicação específica no projeto, os valores de alongamento que se afastarem $\pm 10\%$ dos valores previstos devem ser comunicados ao responsável pela obra, para interpretação e conseqüente liberação ou eventual tomada de medidas corretivas. Os cabos cujos alongamentos estejam dentro do intervalo de $\pm 10\%$ dos valores previstos devem ser liberados salvo nota específica do projeto.

C.8.5.7 Devem ainda ser adotadas nas planilhas de protensão as eventuais anomalias ocorridas durante as operações de protensão, tais como quebra de fios, plastificações nas regiões das ancoragens, aparecimento de trincas com seu respectivo mapeamento e outras.