

## MEMORIAL DESCRITIVO DE FUNDAÇÕES

LITOTECA | URCA

**MD**

**001**

**R00**

### Índice de revisões

| revisão | data       | descrição e/ou folhas atingida | responsável |
|---------|------------|--------------------------------|-------------|
| 00      | 08/11/2022 | EMIÇÃO INICIAL                 | Bruna Abreu |

AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA FJ.ARQUITETURA, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO SEM AUTORIZAÇÃO PRÉVIA.

## **1. OBJETIVO**

Esse relatório tem o objetivo de expor o memorial descritivo de Execução de Obras para os projetos de Fundações para a obra do FJ ARQUITETURA-LITOTECA Urca/RJ.

## **2. ESTACAS TIPO HÉLICE CONTÍNUA**

### **2.1. METODOLOGIA EXECUTIVA**

As estacas tipo hélice contínua têm conquistado o mercado de fundações graças as inúmeras vantagens que elas apresentam sobre as demais estacas, tais como: grande velocidade de execução, ausência de vibrações e ruídos excessivos.

Além destas vantagens técnicas, as estacas hélice contínua têm os custos de mão-de-obra muito competitivos, sendo que o seu principal problema é a impossibilidade de controle de arrasamento das estacas e perdas excessivas de concreto que giram em torno de 20%.

Elas são executadas com máquinas perfuratrizes equipadas com trado contínuo com comprimento variando entre 18,00 e 32,00 metros. Dependendo do torque da perfuratriz, as bitolas das estacas poderão variar entre 25 cm e 120 cm, sendo que estacas com bitolas superiores a 90 cm necessitam de equipamentos mais potentes.

As estacas hélice são executadas em duas etapas conforme o exposto abaixo:

#### **A. PERFURAÇÃO**

Durante a perfuração, o trado da hélice é introduzido no solo por meio de sua rotação até a profundidade especificada em projeto.

A haste de perfuração é composta por uma hélice espiral desenvolvida em torno de um tubo central. Quando introduzida no terreno, o solo vai sendo desagregado e penetra entre as hastes da hélice. O trado é introduzido no solo por meio de rotação e pelo peso próprio da hélice junto com o solo contido nela.

A eventual entrada de solo dentro do tubo central é impedida por uma tampa existente na extremidade inferior do trado.

Dependendo do torque da máquina, da existência de “pull-down” e dentes com aço videa na ponta do trado, a sua penetração no solo limita-se a solos coesivos muito duros com SPT > 50 golpes e alterações de rocha A-3.

A perfuração deve ser contínua com a introdução de trado totalmente completo (sem prolongamento) e sem a retirada da hélice da perfuração para “aliviar” o seu peso, pois com os citados procedimentos ocorrem alívios indesejáveis de pressões laterais das estacas.

## **B. CONCRETAGEM**

Após o término da perfuração executa-se a concretagem com concreto bombeado, injetando-o pelo tubo central que compõe a haste. Para tanto ergue-se um pouco o trado para possibilitar a abertura da tampa inferior e inicia-se a concretagem com a retirada simultânea do trado.

O concreto de enchimento das estacas é composto por areia, pedrisco e cimento com consumo entre 350 e 450 kg/m<sup>3</sup> e slump de 22 ± 2 cm. O

concreto é bombeado para o trado, que é sacado concomitantemente ao preenchimento da perfuração pelo concreto. A velocidade de subida e a pressão de injeção devem ser controladas para que não haja sobre consumo em excesso ou vazios no preenchimento da estaca.

O preenchimento da estaca com o concreto é feito até a superfície do terreno onde está implantada a perfuratriz, sendo que, dependendo do tipo de solo, é possível interromper a concretagem e sacar o trado arrasando a estaca um pouco mais abaixo, sem que haja um controle preciso desta cota. É usual também a retirada do concreto acima do arrasamento com o auxílio de baldes objetivando a diminuição da demolição do concreto em excesso.

Após a concretagem deve-se limpar o solo proveniente da escavação que fica depositado no topo da estaca. A remoção normalmente é feita com o auxílio de escavadeira hidráulica.

### **C. ARMAÇÃO**

A armação é implantada na estaca após ela estar limpa. Ela deve ser composta por barras de bitolas grossas e estribos helicoidais objetivando facilitar a sua introdução na estaca por gravidade. Devem-se utilizar roletes de plástico fixados na lateral da gaiola para garantir um cobrimento mínimo de concreto sobre a armação.

Apesar destas providências deve-se ficar atento ao slump do concreto, fator que influencia a implantação da armação. Sugerimos que os valores dos abatimentos do concreto contidos na tabela abaixo sejam seguidos visando facilitar a implantação da gaiola na estaca.

| Abatimento de Concreto para<br>Estaca Hélice Contínua |                                   |
|---|-----------------------------------|
| "L" – comprimento<br>da armação (m)                   | Valor mínimo<br><i>slump</i> (cm) |
| L < 3,00  | 20                                |
| 3,00 < L < 6,00                                       | 22                                |
| 6,00 < L < 9,00                                       | 24                                |
| 9,00 < L < 12,00                                      | 26                                |

#### D. CONTROLE DE QUALIDADE

Toda a operação é monitorada com computador de bordo, que fornece os seguintes elementos:

##### 1. Durante a perfuração:

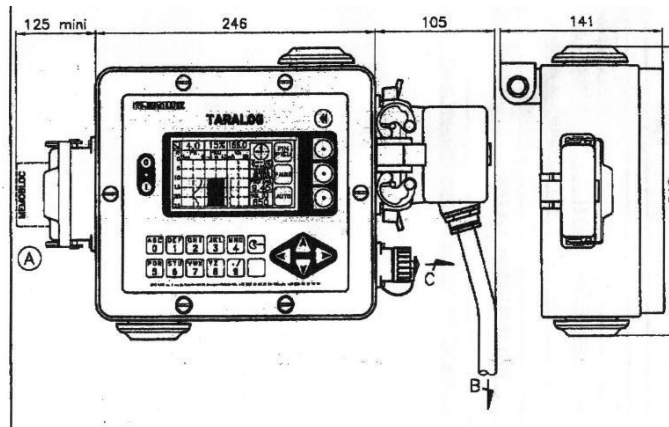
- Inclinação do trado nas duas direções;
- Rotação do trado;
- Torque para a introdução do trado;
- Velocidade de avanço do trado;
- Profundidade do trado.

##### 2. Durante a concretagem:

- Profundidade da ponta do trado;
- Pressão do concreto no topo do trado;
- Volume de concreto injetado (total e parcial);
- Sobre consumo de concreto pontual e total da estaca;
- Velocidade de subida do trado;
- Perfil estimado da estaca.

O computador de bordo deve ser alimentado com dados específicos da estaca e da bomba de concreto. Todos os dados da execução das

estacas devem ser fornecidos impressos em relatórios, para compor a documentação do acompanhamento das fundações.



**Figura nº01-** Computador de bordo tipo Taralog Mait DH 180

## 2.2. CHECK LIST PARA EXECUÇÃO DAS ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA

### A. SERVIÇOS PRELIMINARES NO CANTEIRO DE OBRAS

- a. Criar acessos à perfuratriz (rampa máxima 17%)
- b. Definir local para bomba de concreto estacionária ou de lança
- c. Gabarito da obra com locação do eixo dos pilares
- d. Equipe de apoio
  - Armadores
  - Serventes para limpeza do trado
- e. Equipamentos de apoio
  - bob-cat ou pá carregadeira sobre esteira
  - caminhão toco ou trucado traçado
  - bomba de concreto compatível com a necessidade de concretagem de cada trado
  - hidrojateamento para limpeza dos caminhões

- f. Infra-estrutura compatível com as exigências da NR-18

**B. PROJETO DE FUNDAÇÕES**

- a. Locação das estacas com definição de bitolas e cota de apoio de cada estaca
- b. Locação das sondagens
- c. Indicação de viga de travamento e/ou alavanca
- d. Interferência do estaqueamento com taludes provisórios
- e. Detalhe da armação das estacas
- f. Especificações do concreto (slump test, consumo de cimento, agregados e Fck)
- g. Resumo dos quantitativos (estacas, concreto, aço)
- h. Detalhe do corte das estacas para arrasamento

**C. PROJETO DE FORMAS E ARMAÇÃO DAS FUNDAÇÕES**

- a. Planta de locação dos pilares e formas dos blocos, baldrames e vigas de travamento
- b. Formas dos blocos, baldrames, vigas de travamento / alavancas contendo corte típicos com definição de cotas de arrasamento e altura das peças de concreto armado
- c. Armação dos blocos de coroamento, vigas e arranque dos pilares
- d. Resumo do quantitativo de aço
- e. Especificação dos materiais (aço e concreto)

**D. EXECUÇÃO DAS ESTACAS**

- a. Locação das estacas (verificação por triangulação) implantar piquete enterrado 30 cm no solo e aterrado com areia que deverá ser checado no gabarito antes da execução
- b. Inspeção do equipamento
  - Torque e arranque suficiente para escavação e arrancamento do trado:

- torque 80 a 150 KNm para Ø até 80 cm e Ø 160 KNm para Ø até 120 cm
  - arranque 400 KN para Ø até 80 cm e 700 KN para Ø até 120 cm
  - trado íntegro (sem sinais de amassado, retilíneo) com diâmetro interno de 100 mm (para até 70 cm) e 125 mm (para até 120 cm)
  - comprimento do trado compatível com as profundidades de projeto, evitando-se sempre que possível uso de prolonga
  - sensores para profundidade, velocidade, inclinação, volume e pressão de concreto
  - centralizadores para verificação de axialidade do trado no piquete
  - computador de bordo – fornecer os dados sobre a bomba de concreto e bitola da estaca
  - limpador de trado
- c. Boletins de execução das estacas contendo:
- nome e local da obra
  - identificação do pilar e da estaca
  - características da estaca (bitola, comprimento previsto / cota de ponta
  - armação
  - comprimento escavado
  - inclinação, velocidade de rotação e penetração bem como torque durante a escavação da estaca
  - velocidade de subida e consumo de concreto parcial durante a concretagem
  - pressão de injeção do concreto durante a concretagem
  - identificação do caminhão betoneira por estaca
  - confrontar volume fornecido x volume concretado
- d. Condições do solo de apoio da perfuratriz
- necessidade de entulho ou rachão e/ou geotextil
- e. Especificações mínimas do concreto:
- bomba de capacidade de bombeamento
  - 20 m<sup>3</sup>/h para estacas Ø máx. de 50 cm
  - 40 m<sup>3</sup>/h para diâmetros maiores



- pressão mínima de 6 mpa
  - Fck 20 mpa
  - agregado – areia e pedregulho sem pó de pedra
  - fator a/c entre 0,53 e 0,56
  - consumo mínimo de cimento 400 kg/m<sup>3</sup> (cimento tipo CP III)
  - início de pega 🕒 3,0 horas
  - slump dentro do especificado (22 📏 2 cm)
  - adição de água de acordo com o especificado na nota da concreteira
  - corpos de prova para 7, 14 e 28 dias de ruptura
  - moldagem de cp de PUC Ø 4” com 3 metros de comprimento fechado no fundo para verificar execução:
    - (máxima 2%) – para CP III
    - (mínima 1%) – para CP V
- f. Perfuração das estacas
- verificação de proximidade com estaca com concreto fresco (respeitar 6 Ø por 12 horas)
  - acompanhamento do torque, velocidade de penetração e profundidade
  - a empreiteira fornece o relatório impresso
- g. Concretagem da estaca
- acompanhamento da pressão de injeção (sempre maior que zero) e com sobre-consumo mínimo de 10%
  - acompanhamento do volume de concreto (parcial e total)
  - a empreiteira fornece o relatório impresso
- h. Armação da estaca implantada após o término da concretagem
- i. Limpeza do solo proveniente da escavação
- j. Inspeção da superfície da estaca para detectar eventual abatimento do concreto

## **E. APARELHAMENTO DAS ESTACAS NA COTA DE ARRASAMENTO DEFINIDA EM PROJETO**

## **F. VERIFICAÇÃO DA EXCENRICIDADE DAS ESTACAS JÁ EXECUTADAS**

- a. A armação absorve a excentricidade
- b. O estaqueamento absorve a excentricidade
- c. É necessária a execução de viga de travamento ou alavanca

### **3. FUNDAÇÃO DIRETA**

#### **3.1. DEFINIÇÕES**

A fundação de uma edificação não é o item mais oneroso de uma obra, podendo o seu custo variar entre 3% e 7% do custo total do empreendimento. Apesar disso, erros conceituais de projeto e vícios executivos podem acarretar custos diretos e indiretos elevadíssimos, desde reforços e recuperação estrutural até ações jurídicas de consequências imensuráveis.

A escolha correta de uma solução de fundações deve passar necessariamente por uma criteriosa análise técnica e econômica de várias alternativas, devendo ser ponderadas variáveis tais como as condições das edificações vizinhas à obra, geotecnia local, viabilidade executiva e existência de mão de obra especializada para a execução da solução definida.

O controle de qualidade das fundações deve iniciar pela escolha da melhor solução técnica e econômica, passando pelo detalhamento de um projeto executivo e finalizando com o controle de campo da execução do projeto. Nesta fase é comum que ocorram intervenções e modificações no projeto devido a interferências enterradas, erros de locação, variação do solo, etc.

Cada uma dessas etapas deverá ser feita ou acompanhada por um engenheiro especializado em solos, visando a busca da excelência dos serviços.

#### **3.2. FUNDAÇÕES APOIADAS DIRETAMENTE NO SOLO**

##### **A. METODOLOGIA EXECUTIVA**

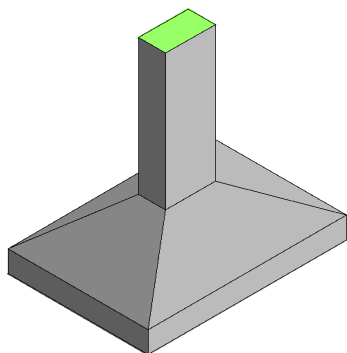
Desde que seja tecnicamente viável, a fundação direta é uma opção interessante pois para a sua execução, não é necessária a utilização de equipamentos e mão de obra especializada, bastando para tanto a formação de equipe composta por serventes, carpinteiros e armadores. Isto torna a fundação direta atraente no que se refere ao aspecto econômico.

No aspecto técnico citamos como itens positivos, a facilidade de inspeção do solo de apoio aliado ao controle de qualidade do material utilizado no que se refere à resistência e aplicação.

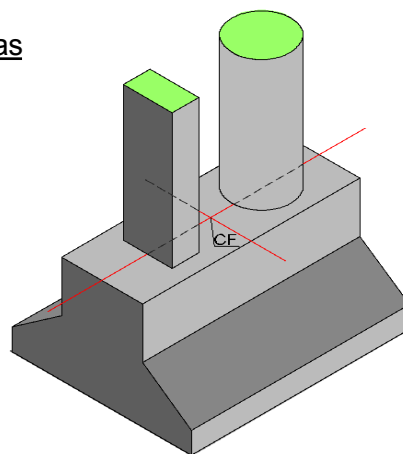
Estes fatos fazem com que a fundação direta seja a primeira solução a ser analisada quando se inicia um estudo técnico e econômico, para a escolha do tipo de fundação a ser utilizado em uma obra.

As sapatas podem ter várias formas conforme exposto abaixo:

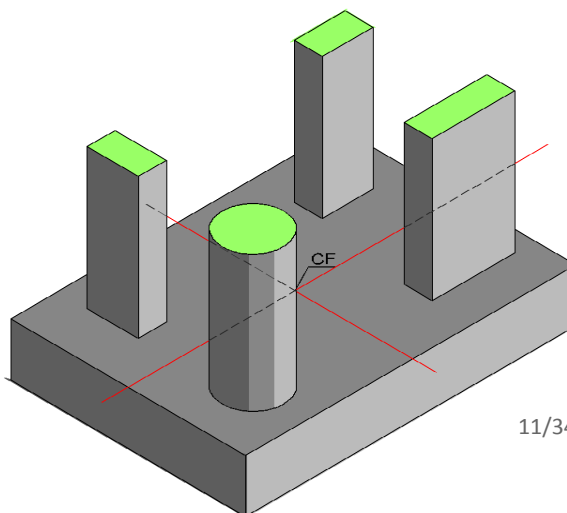
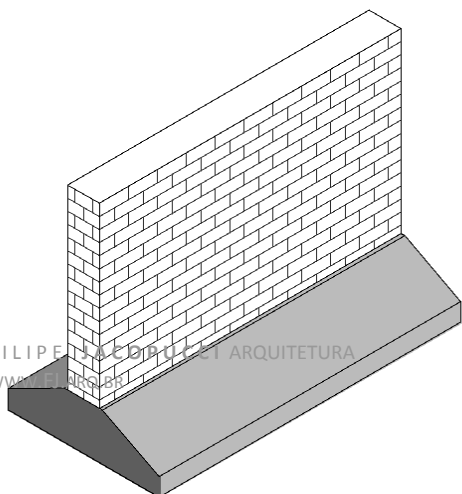
#### Tipos de Sapatas



Sapata Isolada



Sapata Associada



Sapata Corrida

Radier

**B. CONCEITOS TEÓRICOS BÁSICOS**

As fundações apoiadas diretamente sobre o solo devem trabalhar descarregando peso da estrutura no terreno de apoio com tensões que não gerem recalques excessivos ou rupturas.

As tensões de trabalho no solo, também conhecidas como tensões admissíveis ou taxa do solo são expressas em  $\text{Kg/cm}^2$ ,  $\text{t/m}^2$ ,  $\text{KN/m}^2$  ou kpa. Elas são calculadas com base na experiência de cada projetista de fundações que normalmente utilizam ensaios do campo tais como sondagem tipo SPT, deep-sounding ou ainda dilatômetro de Marchetti.

Existem fórmulas empíricas que estimam a tensão admissível através de correlações com o resultado de ensaios de campo, e fórmulas que utilizam a resistência ao cisalhamento do solo de apoio. Além da ruptura, também devem ser verificados os recalques das fundações a fim de avaliar deformações diferenciais entre os pilares.

A seguir, estão relacionados alguns métodos para estimativa da capacidade de carga e recalques das sapatas:

- **MÉTODO EMPÍRICO DE TERZAGHI PARA ESTIMATIVA DA TENSÃO DE RUPTURA**

Para se estimar a capacidade de carga pelo método de Terzaghi deve-se utilizar as seguintes fórmulas:

- o Solos argilosos rijos a duro e arenosos compactos a muito compacto – ruptura geral.

$$Tensão\ de\ ruptura = \sigma_r = C \cdot N_c \cdot S_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma + q \cdot N_q \cdot S_q$$

- o Solos argilosos moles e arenosos fofos – ruptura local.

$$Tensão\ de\ ruptura = \sigma_r = \frac{2}{3} \cdot C \cdot N'_c \cdot S_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N'_\gamma \cdot S_\gamma + q \cdot N'_q \cdot S_q$$

**Onde:**

C – Coesão do solo (KN/m<sup>2</sup>)

γ – Peso específico médio efetivo abaixo da cota de apoio da sapata até a profundidade B (KN/m<sup>3</sup>)

(Se houver água γ<sub>ef</sub> = γ<sub>sat</sub> - γ<sub>w</sub>)

B – Menor dimensão da sapata (m)

q – Pressão efetiva na cota de apoio da sapata (KN/m<sup>2</sup>)

| Fatores de Carga |                |                |                |                 |                 |                 |
|------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Ø (°)            | Ruptura Geral  |                |                | Ruptura Local   |                 |                 |
|                  | N <sub>c</sub> | N <sub>γ</sub> | N <sub>q</sub> | N' <sub>c</sub> | N' <sub>γ</sub> | N' <sub>q</sub> |
| 0                | 5,7            | 0              | 1,0            | 5,7             | 0               | 1,0             |
| 15               | 12,9           | 2,5            | 4,4            | 9,7             | 0,9             | 2,7             |
| 20               | 17,7           | 5,0            | 7,4            | 11,8            | 1,7             | 3,9             |
| 25               | 25,1           | 9,7            | 12,7           | 14,8            | 3,2             | 6,6             |
| 30               | 37,2           | 19,7           | 22,5           | 19,0            | 5,7             | 8,3             |
| 35               | 57,8           | 42,4           | 41,4           | 25,2            | 10,1            | 12,6            |

| Fatores de Forma |                 |                 |                   |                |
|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|
|                  | Sapata Quadrada | Sapata Circular | Sapata Retangular | Sapata Corrida |
| Sc               | 1,30            | 1,30            | 1,10              | 1,00           |
| Sy               | 0,80            | 0,60            | 0,90              | 1,00           |
| Sq               | 1,00            | 1,00            | 1,00              | 1,00           |

Os valores de coesão e ângulo de atrito interno podem ser obtidos de ensaios feitos em laboratório (ensaios triaxiais) ou correlações retiradas de ensaio de deep-sounding.

Para solos argilosos ( $C > 0$ ;  $\phi = 0$ )

- Tensão de ruptura da sapata independe da sua largura (B);
- Tensão de ruptura independe da presença de água abaixo do apoio da sapata.
- A tensão de ruptura está relacionada ao embutimento da sapata no solo.
- A sapata corrida tem capacidade de carga menor que as demais sapatas.

Para solos arenosos ( $C = 0$ ;  $20^\circ \leq \phi \leq 40^\circ$ )

- A tensão de ruptura da sapata depende da sua largura (B);
- A presença de água abaixo da cota de apoio da sapata influencia na capacidade de carga da sapata;
- A tensão de ruptura está relacionada ao embutimento da sapata no solo.
- A sapata corrida tem capacidade de carga maior que as demais sapatas.

Recomenda-se que seja adotado para a estimativa da tensão admissível do solo fator de segurança  $FS = 3$ . (Para cargas atuantes não majoradas sem ensaios específicos)

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{rup}}{3}$$

- **PROVA DE CARGA SOBRE PLACA**

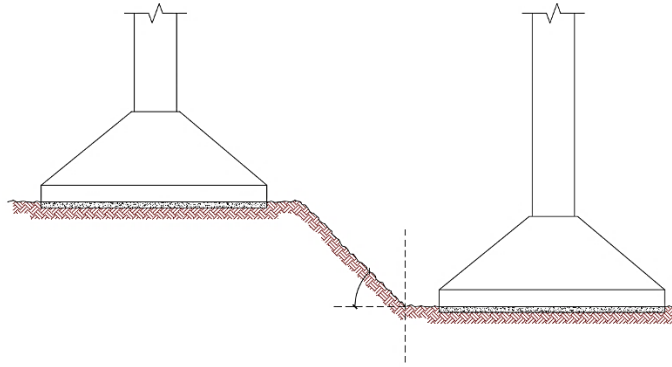
O ensaio de prova de carga sobre placa é realizado segundo a NBR 6489/2019, e tem por objetivo determinar a capacidade de suporte das fundações superficiais (rasa ou direta).

Como resultado do ensaio de prova de carga sobre placa será apresentada a curva pressão recalque, a qual pode ser interpretada de modo a considerar a relação entre o modelo e protótipo para determinação da tensão admissível (se o projeto for calculado com coeficiente de segurança global) ou para determinação da tensão resistente de projeto (quando for considerados fatores de segurança parciais).

- **FUNDAÇÕES APOIADAS EM COTAS DIFERENTES**

Conforme a NBR 6122:2019, item 7.7.4, no caso de fundações próximas, porém situadas em cotas diferentes, a reta de maior declive que passa pelos seus bordos deve fazer, com a vertical, um ângulo  $\alpha$ , como mostrado na figura, com os seguintes valores:

- a. solos pouco resistentes:  $\alpha \geq 60^\circ$ ;
- b. solos resistentes:  $\alpha \geq 45^\circ$ ; e
- c. rochas:  $\alpha \geq 30^\circ$ .



### 3.3. CHECK LIST PARA EXECUÇÃO DAS SAPATAS

#### A. SERVIÇOS PRELIMINARES NO CANTEIRO DE OBRAS

- a. Força trifásica (potência mínima 20kwa)
- b. Bancada de armação e carpintaria
- c. Areia, pedra, cimento, madeira, aço
- d. Bomba de recalque de 2"
- e. Vibrador
- f. Instalações sanitárias

#### B. PROJETOS DE FUNDAÇÕES, FORMAS E ARMAÇÃO

- a. Projeto de fundações
  - Localização dos CG dos pilares
  - Dimensões das sapatas
  - Indicar as vigas de travamento e vigas de alavanca
  - Interferência com talude provisório (projeto de escavação)
  - Localização de poços de drenagem e caixa d'água enterrada
  - Localização de sondagens
  - Compatibilização do projeto de fundação com sistema de drenagem
- b. Projeto de formas e armação
  - Especificação do concreto e aço
  - Localização dos pilares
  - Altura da sapata
  - Arrasamento das sapatas



- Armação das sapatas e arranque de pilares

### **C. EXECUÇÃO DAS SAPATAS**

- a. Gabarito da obra contendo os eixos dos pilares
- b. Boletim de controle da execução contendo:
  - nome e local da obra
  - identificação e dimensões teóricas
  - cota de apoio
  - verificação da locação
  - dimensões reais da sapata
  - controle do posicionamento da armação
  - consumo real de concreto
  - identificação do caminhão betoneira
  - resistência do concreto
- c. Locação dos C.G. dos pilares e das sapatas (conferência por triangulação)
- d. Definição da cota de apoio das sapatas pelo engenheiro de solos (função do solo de apoio, proximidade com as outras sapatas e altura estrutural das sapatas)
- e. Informar o engenheiro estrutural sobre mudança no comprimento dos pilares (problemas com flambagem) caso haja necessidade de rebaixar o apoio da sapata
- f. Verificação do terreno de apoio pelo engenheiro de solos
- g. Concreto magro no fundo da cava que deve estar limpa (sem lama e sem solo proveniente do reaterro e sem água)
- h. Forma com medidas correta, armação da, arranque dos pilares e viga de travamento de acordo com o projeto
- i. Concretagem
  - molhar formas
  - slump test e moldagem de corpo de prova
  - concreto com início de pega dentro do previsto
  - água adicionada está correta

- j. Após a concretagem reaterro da sapata compactado manualmente ou com auxílio de sapo mecânico

#### **4. CONTENÇÃO EM ESTACA RAIZ COM PERFIL IMPLANTADO**

##### **4.1. METODOLOGIA EXECUTIVA**

As estacas raiz são estacas moldadas “in loco”, executadas através de perfuratrizes rotativas e/ou percussivas, preferencialmente utilizando revestimento ao longo de todo o furo, de modo a garantir a integridade de seu fuste. Após a sua perfuração, a estaca é armada e preenchida com argamassa fluida.

A estaca raiz é executada em três etapas distintas que são a perfuração, a armação e a concretagem com ar comprimido.

##### **A. PERFURAÇÃO**

Na etapa da perfuração introduz-se no solo, por meio de rotação imposta por uma perfuratriz, uma tubulação munida na ponta de uma coroa mais larga que o diâmetro externo do tubo, formando a composição de revestimento.

O material desagregado pela rotação do tubo é expelido pela circulação de água injetada com pressão na parte interna da tubulação (do topo para a ponta) e que retorna pelo espaço existente entre a parede externa do tubo e a parede da escavação. A tubulação é instalada em segmentos rosqueáveis e reveste totalmente a estaca sendo sacada após o seu preenchimento com argamassa e instalação da armação.

A instalação do tubo de revestimento pode ser parcial, sendo que neste caso a perfuração abaixo do tubo pode ocorrer com a utilização de tricone

com auxílio de circulação de água ou com elementos estabilizantes das paredes das perfurações.

Quando existe a necessidade de se ultrapassar interferências tais como alvenaria, entulho, matacão, rocha etc., utilizam-se ferramentas especiais tais como coroa com pastilhas de vídea, martelo de fundo de roto percussão etc.

A tabela abaixo define os diâmetros mínimos dos tubos de revestimento a serem utilizados nas estacas raiz.

| TUBOS DE REVESTIMENTO ESTACA RAIZ |     |     |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Diâmetro da estaca (mm)           | 100 | 120 | 150   | 160   | 200   | 250   | 310   | 410   |
| Diâmetro externo do tubo (mm)     | 89  | 102 | 127   | 141   | 168   | 220   | 273   | 356   |
| Diâmetro interno do tubo (mm)     | 73  | 86  | 109   | 122   | 146   | 224   | 284   | 384   |
| Martelo de fundo                  |     |     | 3 1/2 | 3 1/2 | 5 1/8 | 7 5/8 | 9 1/8 | 9 1/8 |

## B. ARMAÇÃO

Completada a perfuração introduz-se na parte interna da tubulação a armação da estaca que pode ser em feixe, gaiola ou perfil metálico de acordo com o especificado pelo projetista. A armação deve ser implantada ao longo de toda a estaca podendo ter quantidade de aço transversal variável de acordo com os esforços atuantes.

No caso de o tubo de revestimento não ser utilizado integralmente no furo, elementos espaçadores devem ser instalados de modo a evitar o contato do aço com o solo.

Devido aos pequenos diâmetros das perfurações aliado ao fato de diminutos espaços disponíveis internos à tubulação, a armação das estacas menores que 160 mm não possuem estribos sendo que elas são armadas com feixe de barras de aço unidas entre si.

A emenda das barras pode ser feita por transpasse para as estacas submetidas a compressão e com luva para estacas submetidas a tração.

### **C. CONCRETAGEM**

Após a instalação da armadura introduz-se um tubo de PVC até o final da perfuração e executa-se a injeção de argamassa fluída de baixo para cima até que a ela preencha totalmente a perfuração e vaze pelo topo do tubo de modo a expulsar todas as impurezas da perfuração. Em seguida é rosqueada no topo do tubo uma tampa ligada a um compressor de ar que injeta golpes de ar comprimido com pressões de 0,5 Kg/cm<sup>2</sup> a 4 Kg/cm<sup>2</sup>.

A remoção da tubulação de revestimento é feita com auxílio de macacos hidráulicos e com o desrosqueamento dos segmentos de tubos superiores e repetidas injeções de ar comprimido no topo do tubo.

É comum o abatimento da argamassa durante a retirada do tubo devendo o seu nível ser completado sempre antes da aplicação do ar comprimido.

A argamassa de preenchimento é fluida e possui um traço aproximado de 1 saco de cimento para 22 a 25 litros de água para 80 a 85 litros de areia, o que confere resistências maiores que  $f_{ck} \geq 18$  MPa. A estaca é concretada até a superfície do terreno devendo ser arrasada para a execução do bloco de coroamento.

## **5. TIRANTES**

### **5.1. CONCEITOS TEÓRICOS BÁSICOS**

Os tirantes são elementos estruturais dimensionados para trabalhar a tração. Eles são implantados no terreno por meio de uma perfuração e consolidados no

solo ou rocha por meio de injeções de nata de cimento para posteriormente serem protendidos.

A sua maior utilização é nas obras de contenções, ocasião em que eles absorvem os esforços horizontais provenientes de empuxo do solo, sendo também muito utilizados em lajes de subpressão, quando trabalham posicionados na vertical com o objetivo de absorver os esforços provenientes de empuxo hidráulico no piso de obras submersas.

## **5.2. TIPOS DE TIRANTES**

A grande maioria dos tirantes utilizados atualmente são compostos por aço em forma de fios, cordoalhas, barras maciças e tubos metálicos vazados.

Conforme exposto inicialmente, para a instalação do tirante no solo é feita uma perfuração, para posteriormente ter o elemento estrutural instalado no solo, sendo que essa perfuração poderá ser executada com equipamento manual, ou mecânico com auxílio de circulação de água ou ar comprimido. Também existe a possibilidade de executar a perfuração com a instalação concomitante do tirante caso sejam utilizados os tirantes tubulares auto-injetáveis.

### **A. TIRANTES COM INJEÇÃO POSTERIOR**

- **Tirantes de Barra**

Os tirantes de barra são, em sua grande maioria, fornecidos pela empresa Dywidag, fabricante de barras maciças compostas por aços ST 42/50, ST 50/55 e ST 85/105. A Dywidag também fornece os acessórios para emendas e protensão das barras. A tabela abaixo expõe as bitolas, tipos de aço e cargas de trabalho dos tirantes monobarra.

| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS TIRANTES MONOBARRA |        |                     |                     |       |                     |                     |
|---|--------|---------------------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|
| tipo de aço                                     | Φ (mm) | designação          | cargas limites (tf) |       |                     |                     |
|   |        |                     | ruptura             | teste | trabalho permanente | trabalho provisório |
| ST 42/50  | 32     | Gewi duplo filetado | 40                  | 24    | 17                  | 20                  |
| ST 50/55  | 32     | Gewi duplo filetado | 44                  | 28    | 20                  | 24                  |
| ST 85/105                                       | 15     | Dywi duplo filetado | 18                  | 10,5  | 7,5                 | 9                   |
|   | 19     | Dywi barra lisa     | 29                  | 17    | 12                  | 14                  |
|   | 32     | Dywi duplo filetado | 84                  | 49    | 35                  | 41                  |

Onde:

ST x/y

x— tensão de escoamento em t/mm<sup>2</sup>

y— tensão de ruptura em t/mm<sup>2</sup>

- Tirantes de Fios e Cordoalhas**

Esses tirantes são executados com fios e cordoalhas de aço montados com espaçadores e tubos manchets. O arranjo dos fios e cordoalhas gera elementos estruturais com as características citadas na tabela abaixo exposta:

| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS TIRANTES COM FIOS OU CORDOALHAS |                      |               |                                  |     |     |     |     |
|--|----------------------|---------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| aço  | fios ou cordoalha    | tipo de carga | quantidade de fios ou cordoalhas |     |     |     |     |
|  |                      |               | 4                                | 6   | 8   | 10  | 12  |
| aço CP 150 RB<br>Fyk = 13.500 kg/m <sup>2</sup>              | fios de 8 mm         | ruptura       | 30                               | 45  | 60  | 75  | 90  |
|  |                      | teste         | 20                               | 28  | 38  | 48  | 57  |
|  |                      | permanente    | 14                               | 20  | 27  | 34  | 41  |
|  |                      | provisória    | 12                               | 24  | 33  | 40  | 48  |
| aço CP 190 RB<br>Fyk = 17.000 kg/m <sup>2</sup>              | cordoalha de 12,5 mm | ruptura       | 75                               | 112 | 150 | 187 | 224 |
|  |                      | teste         | 49                               | 71  | 97  | 120 | 144 |
|  |                      | permanente    | 35                               | 51  | 69  | 86  | 103 |
|  |                      | provisória    | 40                               | 60  | 80  | 100 | 120 |

## B. METODOLOGIA EXECUTIVA

Os tirantes com injeção posterior são executados em seis etapas distintas a saber:

### **1ª etapa: Montagem**

Montagem dos tirantes de acordo com o exigido em projeto no que se refere a estrutura (quantidade de barras, fios ou cordoalhas), comprimento livre e ancorado e proteção contra corrosão (vide item I.3).

### **2ª etapa: Perfuração**

Perfuração do solo ou rocha com diâmetro e comprimento definido pelo projetista geotécnico. Essa perfuração poderá ser manual ou mecânica, com auxílio de circulação de água, lama bentonítica ou ar comprimido, com revestimento ou não, dependendo das condições de resistência ao corte e estabilidade das paredes do furo.

### **3ª etapa: Introdução do tirante e preenchimento da perfuração**

Introdução do tirante e preenchimento da perfuração com nata de cimento + água, com fator água-cimento entre 0,55 e 0,50 (execução da “bainha”). Dependendo das condições locais, por vezes torna-se necessário o preenchimento da perfuração com nata de cimento antes da introdução dos tirantes.

### **4ª etapa: Injeção da nata de cimento**

Aplicação de nata de cimento no solo por meio de bomba de injeção (capacidades mínimas de 50 Kg/cm<sup>2</sup>) que conduz a nata por meio de mangueira com um bico de injeção munido de perfurações laterais (obturador), o qual deve ser posicionado em cada válvula manchete.

A quantidade de sacos de cimento por manchete ficará a critério do executor e consultor geotécnico, sendo prática comum a adoção de 0,50 sacos de cimento por manchete.

A quantidade de repetições de injeção nas válvulas manchete ("fases" de injeção), também ficará a critério do executor e do consultor de geotécnico, sendo prática comum a adoção de pressões mínimas de injeção de 20 Kg/cm<sup>2</sup> e máxima para abertura das manchetes do 60 Kg/cm<sup>2</sup>, como limite para o término das injeções.

### **5ª etapa: Protensão**

Protensão do tirante sete dias após a última fase de injeção caso se utilize cimento comum, ou quatro dias após a última fase de injeção caso se utilize cimento de alta resistência inicial (ARI).

O ensaio do tirante deverá estar de acordo com a NBR - 5629, sendo a sua ancoragem executada em placas de aço inclinadas em relação à vertical.

### **6ª etapa: Preparo da cabeça de proteção (Válida para tirantes definitivos)**

Preparo da cabeça de proteção com a instalação de dois tubos de injeção na cabeça do tirante.

Após a concretagem do bloco de proteção da cabeça do tirante injeta-se nata de cimento por um dos tubos até que ela seja extravasada pelo segundo tubo, eliminando-se desta forma as eventuais falhas (vazios) de concretagem.



### C. TIRANTES TUBULARES AUTO-INJETÁVEIS

Os tirantes tubulares auto-perfurantes são compostos por um conjunto de tubos nervurados obtidos através da laminação a frio. Os tirantes são fabricados com os tubos Vallourec & Mannesmann, os quais são cortados e laminados em comprimentos de 1,2,3,4 e 6 metros. A utilização de emendas por meio de luvas sextavadas e rosqueáveis possibilitam a composição de tirantes de qualquer comprimento.

A ponta do tirante é composta por uma peça de perfuração chamada tricone, munida de orifícios de diâmetro variável entre 5,0 mm e 12,0 mm.

| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS TRICONES EM FUNÇÃO DO TIPO DE SOLO |                |             |     |
|---|----------------|-------------|-----|
| tipo de solo  | Φ tricone (mm) | Φ Bits (mm) | β   |
| argila  | 110 a 150      | 4 - 5       | 90° |
| silte   | 130 a 150      | 5 - 6       | 90° |
| areia   | 130 a 180      | 6 - 8       | 45° |

- Elementos Básicos para a Execução de Projetos**

A Incotep possui uma linha de produção de tirantes que resultam em cargas similares aos tirantes tradicionais de fios e cordoalhas conforme mostrados na tabela abaixo:

| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE TIRANTES AUTO-INJETÁVEIS – SISTEMA TUBULAR |             |              |             |            |                                 |             |            |       |
|--|-------------|--------------|-------------|------------|---------------------------------|-------------|------------|-------|
| tipo   | Φ nom. (mm) | Φ efet. (mm) | parede (mm) | área (mm²) | módulo de elasticidade (kg/mm²) | carga (ton) |            |       |
|  |             |              |             |            |                                 | permanente  | provisório | teste |
| INCO-15 TD   | 30          | 27,1         | 9,0         | 510        | 21000                           | 15,0        | 17         | 21    |
| INCO-20 TD   | 40          | 38,1         | 9,0         | 822        | 21000                           | 20,0        | 23,0       | 28    |
| INCO-27 TD   | 40          | 38,1         | 9,0         | 822        | 21000                           | 27,0        | 31,0       | 38    |
| INCO-34 TD   | 40          | 38,1         | 11,0        | 936        | 21000                           | 34,0        | 40,0       | 48    |
| INCO-43 TD   | 50          | 48,3         | 11,5        | 1330       | 21000                           | 43,0        | 50,0       | 60    |
| INCO-51 TD   | 62          | 60,3         | 10,0        | 1580       | 21000                           | 51,0        | 60,0       | 71    |

- **Metodologia Executiva**

Os tirantes tubulares auto-injetáveis são executados em etapas distintas, a saber:

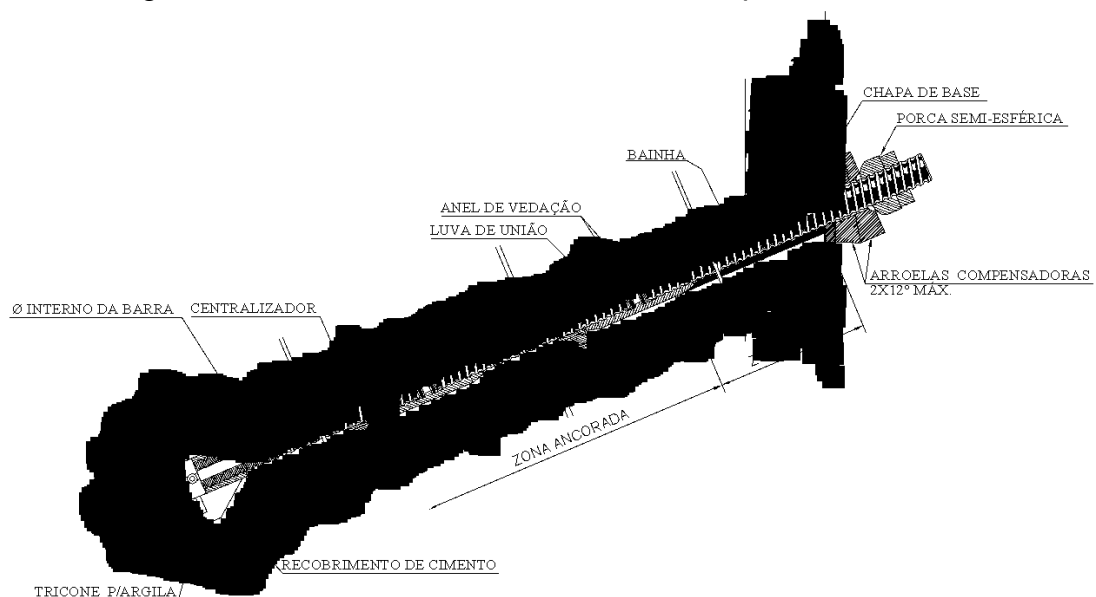
**1ª etapa – Montagem**

A montagem do tirante auto-perfurante Incotep é muito rápida pois a barra, luvas, tricones e demais acessórios são fornecidos pela fábrica bastando montar o tirante na própria obra.

A montagem inicia pela prévia pintura das barras com tinta especial contra corrosão e instalação do tricone na extremidade da primeira barra que será introduzida no solo.

As demais barras são implantadas conforme evolui a perfuração com a junção das barras por meio da luva de união e anéis de vedação. Aconselha-se que as barras que irão compor o trecho livre receba tratamento com graxa grafitada.

A figura abaixo mostra o tirante montado e implantado no terreno.



## 2ª etapa - Perfuração com injeção simultânea

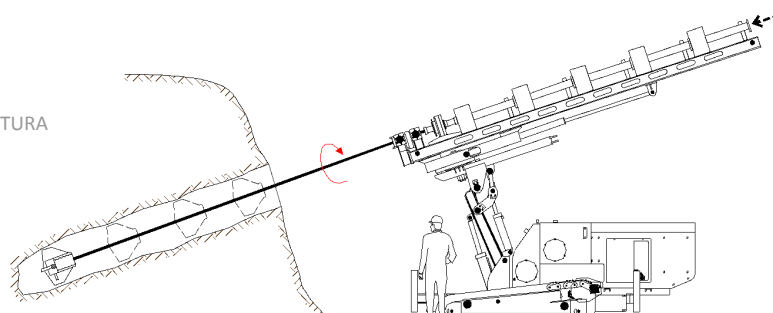
O tirante é introduzido no terreno com o auxílio de perfuratriz rotativa ou roto percussiva com torque mínimo de 400 kg x m. Aconselha-se que a rotação para implantar o tirante no terreno fique entre 50 e 90 rpm e que o avanço seja feito entre 0,50 e 1,50 m/mm.

Simultaneamente à introdução do tirante, é executada a injeção de fluido aquoso que penetra na parte interna do tirante pela extremidade externa do tubo e flui sob alta pressão até o tricone por onde ela sai pelos pequenos orifícios lá existentes.

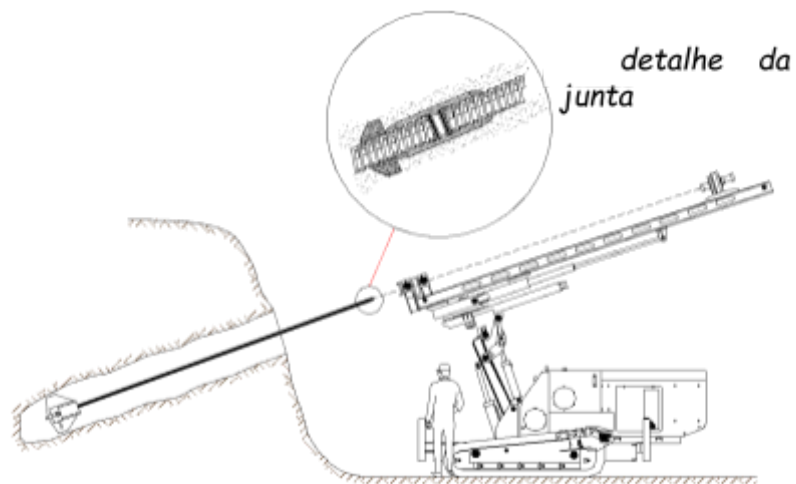
No trecho livre, o fluido pode ser composto somente por água ou uma calda “rala” de água e cimento. No trecho ancorado, o fluido deve ser necessariamente composto por água e cimento com fator A/C= 0,50, injetado com pressão mínima de 25 kg/cm².

A pressão de injeção da calda é um item muito importante pois a dimensão do bulbo de ancoragem depende dela. Ela é função da granulometria e da consistência ou compacidade do solo bem como da potência da bomba de injeção, itens impossíveis de controlar. Para tanto, deve-se utilizar os furos do tricone (bits) bem como alterar o traço da nata de água e cimento visando adequar a sua viscosidade às necessidades de cada obra.

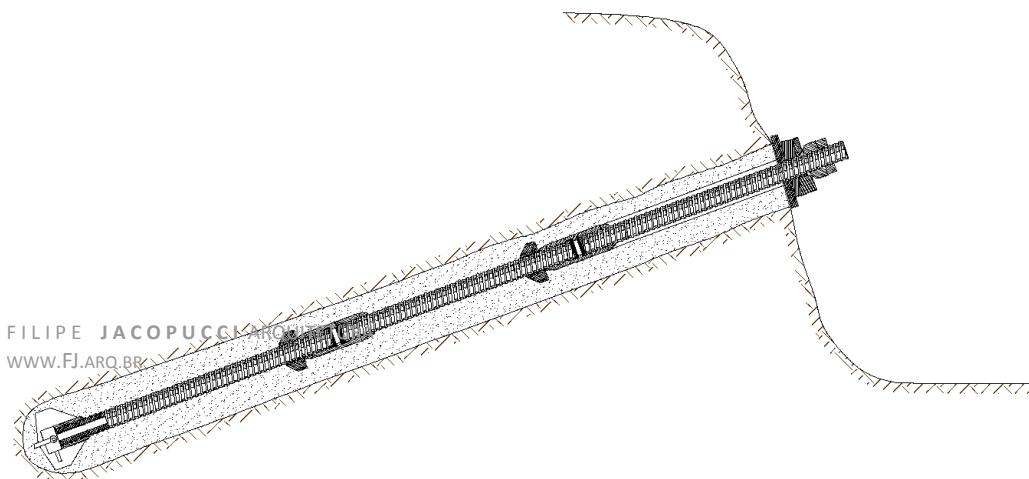
O sequencial executivo do processo encontra-se nas figuras abaixo:



### Introdução do primeiro elemento



### Perfuração com acoplamento de nova barra



### **Tirante concluído**

#### **3ª etapa - Protensão**

Após a implantação do tirante deve-se aguardar o prazo de quatro dias (caso se utilize cimento de alta resistência inicial) ou sete dias (caso se utilize cimento comum) para a execução da protensão. A protensão do tirante se dá com o auxílio de macaco hidráulico, instalação de placa de grau e porcas para a ancoragem do tirante.

#### **4ª etapa – Cabeça de Proteção (válido para tirantes definitivos)**

Preparo da cabeça de proteção com a instalação de dois tubos de injeção na cabeça do tirante.

Após a concretagem do bloco de proteção da cabeça do tirante injeta-se nata de cimento por um dos tubos até que ela extravase pelo segundo tubo, eliminando-se desta forma as eventuais falhas (vazios) de concretagem.

#### **D. TRATAMENTO CONTRA CORROSÃO**

Em qualquer tipo de tirante de aço a sua montagem se inicia com o tratamento prévio contra a corrosão em função da agressividade do meio

em que se pretende instalar os tirantes. Os elementos de proteção devem atender os requisitos da Norma Brasileira NBR - 5629/1996:

- ter vida útil ou igual à requerida para o tirante;
- não reagir quimicamente com o meio;
- não restringir o movimento do trecho livre;
- ser composto por materiais com deformações compatíveis com as do tirante;
- não sofrer envelhecimento ou trincas sob tensão;
- ser resistente às operações de montagem, transporte, instalação e protensão do tirante.

- **Limpeza**

O tratamento contra corrosão prevê a limpeza prévia das peças metálicas, a qual pode ser mecânica ou química. Quando o grau de oxidação é brando e superficial, a limpeza pode ser mecânica, com o emprego de lixas e escova de aço. Quando o grau de oxidação é muito acentuado deve ser utilizado um processo químico. O tratamento consta de banho de imersão em ácido fosfórico a 85% por 10 a 15 minutos para um banho posterior com soda caustica diluída em 30% também por 10 minutos. O resultado das duas imersões é um depósito branco facilmente removível por processos mecânicos.

- **Pintura**

Após a remoção da ferrugem, as peças passam por uma pintura de proteção anti-corrosiva com tinta a base de resina

As camadas de tinta aplicadas serão sempre, no mínimo, de duas demãos, sem falhas ou imperfeições, devendo-se aguardar a secagem de tinta por no mínimo três dias.

- **Instalação do Tirante** – Recomendações da “NBR - 5629/1996 – Execução de tirantes ancorados no terreno” com relação à proteção contra corrosão.

A proteção contra a corrosão, como já visto anteriormente, é função da agressividade do meio em que se pretende instalar o tirante. Dessa forma, a norma brasileira estipula classes de proteção contra a corrosão, classificadas em razão da agressividade do terreno e aplicáveis aos tirantes em função de estes serem permanentes ou provisórios. A caracterização da agressividade do terreno pode ser feita de maneira preliminar por meio de uma tabela fornecida pela norma e reproduzida a seguir:

| CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE AGRESSIVIDADE DO TERRENO       |                               |                        |                 |
|---|-------------------------------|------------------------|-----------------|
| Tipos de águas freáticas                                | Grau de agressividade do meio |                        |                 |
|   | não agressivo                 | medianamente agressivo | muito agressivo |
| águas puras (*) resíduo filtrável                       | >150                          | 150 a 50               | <50             |
| águas ácidas  | pH>6                          | pH 5,5 a pH 6          | pH<5,5          |
| águas ácidas com CO <sub>2</sub> dissolvido             | <30                           | 30 a 45                | >45             |
| águas selenitosas teor de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | <150                          | 150 a 500              | >500            |
| águas magnesianas teor de Mg <sup>++</sup>              | <100                          | 100 a 200              | >200            |
| águas amoniacaais teor de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | <100                          | 100 a 150              | >150            |
| águas com cloro teor de Cl <sup>-</sup>                 | <200                          | 200 a 500              | >500            |

(\*) São águas de montanhas, de fontes, com ação lixiviante, que dissolvem a cal livre e hidrolizam os silicatos e aluminatos do cimento.

### c.1- Classes de Proteção

#### Classe 1

A norma brasileira enquadra na classe 1 os tirantes permanentes que se encontram em meios muito agressivos ou medianamente

agressivos e tirantes provisórios que se encontram em meio muito agressivo.

Para essa classe, há a exigência de que a proteção possua barreiras físicas que preservem o tirante contra a corrosão, sendo que o cimento é considerado como uma barreira física. Mesmo assim, o tirante ainda deve receber as seguintes proteções em seus trechos livre e ancorado, enunciadas pela Norma NBR - 5629/1996:

**Trecho ancorado:** além do cimento, o elemento resistente à tração deve receber proteção por meio de tubo plástico corrugado ou tubo metálico com espessura mínima de 4mm.

**Trecho livre:** pode ser protegido de duas maneiras:

- Primeira maneira: cada elemento resistente à tração do tirante deve, individualmente, ser envolvido por graxa anticorrosiva e tubo plástico (espaguete). Além disso, o conjunto todo deverá ser envolvido em tubo plástico. Posteriormente à sua instalação, ainda deverá ser injetada calda de cimento de forma a criar outra barreira em torno de todo o conjunto. A transição entre o trecho livre e a cabeça do tirante deve ser executada de maneira a se garantir a continuidade da proteção;
- Segunda maneira: pode-se também optar por executar uma proteção de graxa anti-corrosiva e tubo plástico abrangendo todo o conjunto, sendo que será necessário a instalação de um segundo plástico envolvendo esse conjunto todo. Além disso, deverá se executado o preenchimento com argamassa do espaço vazio existente entre os dois tubos.



## **Classe 2**

Segundo a norma brasileira, enquadram-se na classe 2 os tirantes permanentes executados em meio não agressivo e tirantes provisórios em meio medianamente agressivo.

Para esses casos, deverão ser mantidas as recomendações de proteção da classe 1 para o trecho livre. No caso da ancoragem, a proteção com calda de cimento será suficiente, desde que o elemento resistente à tração receba centralizadores que garantam a sua centralização na perfuração, de modo que recebam o recobrimento mínimo de 2 cm.

## **Classe 3**

A proteção da classe 3 é destinada a tirantes provisórios em meio não agressivo. A proteção do trecho livre pode ser composta por tubo plástico que envolva o elemento resistente à tração com um todo, ou composta por tubos que envolvam cada elemento individualmente.

Para o trecho ancorado, a proteção será obtida com a calda de cimento, desde que o trecho receba centralizadores que garantam o recobrimento mínimo de 5 cm.

## **E. PROTENSÃO**

De acordo com a norma brasileira, todos os tirantes de uma obra devem ser submetidos a ensaios de protensão.

A protensão do tirante é usualmente feita contra a estrutura, através de um conjunto de macaco hidráulico – bomba - manômetro, o qual deve ser previamente aferido em instituição idônea.

Em casos de obras de menor responsabilidade e para cargas relativamente pequenas, pode-se opcionalmente utilizar chave de torque, também devidamente aferida.

Cabe enfatizar que os tirantes aplicam cargas relativamente elevadas em pontos localizados. Assim, caso os testes sejam executados sobre a estrutura, esta deverá estar dimensionada ou preparada para receber os esforços. As cargas devem ser aplicadas de acordo com as características do projeto e do processo executivo previsto.