
LT 500 kV ESTREITO – FERNÃO DIAS CD

PROJETO BÁSICO

CAPÍTULO 14

FUNDAÇÕES

CONTEÚDO

1. CRITÉRIOS DE PROJETO

- 1.1 Introdução
- 1.2 Normas Aplicáveis

2. PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

- 2.1 Introdução
- 2.2 Solo Tipo I
- 2.3 Solo Tipo II
- 2.4 Solo Tipo III
- 2.5 Solo Tipo IV
- 2.6 Rocha

3. PROGRAMA DE INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

- 3.1 Objetivo
- 3.2 Considerações Iniciais
- 3.3 Tipos de Sondagens e Ensaios
 - 3.3.1 Sondagem de Simples Reconhecimento (SPT)
 - 3.3.1.1 Profundidade Mínima
 - 3.3.1.2 Critérios de Paralisação
 - 3.3.1.3 Amostragem e Resistência à Perfuração
- 3.4 Registro do Nível D'água
- 3.5 Localização das Sondagens
 - 3.5.1 Orientação e nomenclatura dos pés e estais da torre
 - 3.5.2 Localização dos Pontos de Sondagem
- 3.6 Relatórios
 - 3.6.1 Sondagens SPT
- 3.7 Outras Informações a Incluir no Relatório
- 3.8 Documentação
 - 3.8.1 Registros

4. FUNDAÇÕES

- 4.1 Torres Estaiadas
 - 4.1.1 Fundações para Mastros Centrais
 - 4.1.2 Fundações para Estais
- 4.2 Torres Autoportantes

5. CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO DAS FUNDAÇÕES

- 5.1 Cargas nas Fundações
- 5.2 Dimensionamento das Fundações
- 5.3 Dimensionamento das Estruturas em Concreto Armado

6. FIGURAS

- 6.1 Estruturas Estaiadas
- 6.2 Estruturas Autoportantes

FUNDAÇÕES

1 - CRITÉRIOS DE PROJETO

1.1 Introdução

O presente documento tem como objetivo apresentar os critérios para a elaboração do projeto de fundações da LT 500 kV Estreito – Fernão Dias CD.

Serão abordados os principais critérios e procedimentos utilizados no cálculo, dimensionamento e definição das fundações das torres da linha de transmissão.

Os carregamentos atuantes nas fundações serão definidos em função dos esforços transmitidos pelas estruturas (torres a serem utilizadas ao longo da LT) às fundações majorados pelo fator mínimo de 1.10.

Para cada tipo de torre, serão analisadas as fundações para os diferentes tipos de solos, em função de parâmetros geotécnicos pré-estabelecidos.

Desta maneira serão elaborados projetos típicos de fundações, considerando os diversos tipos de solos e os tipos de torres utilizadas. Na presença de solos com baixa capacidade de suporte e/ou ocorrência do nível d'água a baixa profundidade, serão elaborados projetos de fundações especiais.

A escolha do tipo de fundação a ser utilizada em cada torre, se dará em função do tipo do carregamento atuante e do tipo e capacidade suporte do solo, definidos através dos ensaios geotécnicos a serem realizados.

A estabilidade das fundações será verificada através dos procedimentos clássicos de análise de estabilidade, adotando-se fatores de segurança globais para determinação das cargas admissíveis nas fundações.

Serão utilizados programas computacionais de uso corrente para a determinação das solicitações devidas aos carregamentos e das tensões aplicadas ao solo da fundação, bem como para o dimensionamento estrutural das peças em concreto armado.

1.2 Normas Aplicáveis

Na execução dos serviços especificados, deverão ser atendidas as disposições estabelecidas na última edição das seguintes Normas Brasileiras e demais normas que indiretamente sejam necessárias:

- NBR 6118 – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado;
- NBR 6122 – Projeto e Execução de Fundações;
- NBR 6484 – Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos – Método de ensaio;
- NBR 6502 – Rochas e Solos – Terminologia;
- NBR 7185 – Determinação da massa Específica aparente “in situ” com emprego do Frasco de Areia;
- NBR 7250 – Identificação e Descrição de Amostras de Solos Obtidas em Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos – Procedimento;
- NBR 8813 – Determinação da massa Específica aparente “in situ” com emprego do Cilindro de Cravação
- NBR 9604 – Abertura de Poço e Trincheira de Inspeção em Solo com Retirada de Amostra Deformada e Indeformada – Procedimento;
- NBR 9820 – Coleta de Amostras Indeformadas de Solos em Furos de Sondagem - Procedimento.

2 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

2.1 Introdução

Os Parâmetros Geotécnicos indicados a seguir serão utilizados como referência para a elaboração dos projetos típicos de fundações.

Estes parâmetros deverão ser confirmados após a conclusão da campanha de investigações geológico-geotécnicas a ser realizada ao longo da LT, constituída por sondagens SPT (Standard Penetration Test) e, se necessárias, sondagens a trado e rotativa.

A partir destes parâmetros e dos carregamentos para cada tipo de torre, serão elaborados os projetos de fundação a serem utilizados na LT em referência, desde que as características do solo/rocha reveladas durante a construção confirmem as indicadas pelas investigações realizadas.

A escolha do tipo de fundação a ser utilizado para as diversas torres será definida considerando os aspectos técnicos e econômicos observados em cada situação.

Caso as condições reveladas pela construção indiquem solos/rochas de características diferentes das consideradas nos projetos típicos, as fundações para estas torres serão objeto de projetos específicos.

2.2 Solo Tipo I

Solo residual maduro/jovem e rocha extremamente decomposta escavável a picareta, com ou sem cobertura de solo coluvionar/solo transportado, sem presença de nível d'água.

- Coesão: 0,4 kgf / cm²
- Ângulo de atrito interno: 25°
- Peso específico: 1700 kgf / m³
- Tensão admissível à compressão: 0,3 Mpa
- Ângulo de arrancamento (método do cone): 25°

2.3 Solo Tipo II

Solo transportado, sem presença de nível d'água.

- Coesão: 0,3 kgf / cm²
- Ângulo de atrito interno: 20°
- Peso específico: 1600 kgf / m³
- Tensão admissível à compressão: 0,2 MPa
- Ângulo de arrancamento (método do cone): 20°

2.4 Solo Tipo III

Solo transportado, sem presença de nível d'água.

- Coesão: 0,2 kgf / cm²
- Ângulo de atrito interno: 17°
- Peso específico: 1300 kgf / m³
- Tensão admissível à compressão: 0,15 MPa
- Ângulo de arrancamento (método do cone): 17°

2.5 Solo Tipo IV

Solo transportado, sem presença de nível d'água.

- Coesão: 0,15 kgf / cm²
- Ângulo de atrito interno: 15°
- Peso específico: 1200 kgf / m³
- Tensão admissível à compressão: 0,10 MPa
- Ângulo de arrancamento (método do cone): 15°

2.6 Rocha

Presença de afloramento de rocha ou rocha sub-superficial, sã ou pouco decomposta ou rocha medianamente decomposta.

Rocha medianamente decomposta:

Escavável por rompedor, apresentando fraturas abertas e decompostas e/ou preenchidas por material decomposto. Fora das imediações das juntas decompostas, a matriz apresenta-se apenas parcialmente decomposta e descolorida.

- Peso específico: 2000 kgf / m³
- Tensão admissível à compressão horizontal: 0,35 MPa
- Tensão de aderência concreto/rocha medianamente decomposta: 1,65 kgf/cm²
- Tensão de aderência rocha/rocha medianamente decomposta: 0,50 kgf/cm²

Rocha sã ou pouco decomposta:

Somente escavável a fogo, com poucas fraturas, podendo apresentar oxidação superficial, sem ou com pouca decomposição da rocha, com matriz sã.

- Peso específico: 2400 kgf / m³
- Tensão admissível à compressão horizontal: 0,7 MPa
- Tensão de aderência concreto/rocha sã ou pouco decomposta: 4,00 kgf/cm²
- Tensão de aderência rocha/rocha sã ou pouco decomposta: 1,00 kgf/cm²
- Ângulo de atrito interno: 45°
- Ângulo de espraiamento com a vertical das tensões na rocha: 30°
- Tensão admissível à compressão: 1,0 MPa

3 PROGRAMA DE INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS**3.1 Objetivo**

O presente programa de investigações geotécnicas tem por objetivo estabelecer os procedimentos básicos, normas, critérios e diretrizes gerais para a definição dos quantitativos e tipos de sondagens, entre outros elementos necessários que deverão ser observados na realização dos serviços de coleta de informações geotécnicas, para fins do projeto das fundações da LT 500 kV Estreito – Fernão Dias CD.

3.2 Considerações Iniciais

As sondagens devem ser executadas por profissional capacitado, bem como ser aplicado processo executivo e equipamentos que garantam uniformidade e qualidade constantes ao longo de toda a extensão do trabalho.

Os serviços de sondagem devem ser assistidos e supervisionados por profissional qualificado.

3.3 Tipos de Sondagens e Ensaio

Considerando as características dos solos da região será utilizado o seguinte tipo de sondagem:

Sondagem SPT – sondagens de simples reconhecimento e/ou rotativa.

3.3.1 Sondagem de Simples Reconhecimento (SPT)

Será elaborado um programa de sondagem a percussão, contemplando todas as estruturas autoportantes e as estruturas estaiadas na proporção de uma torre sondada para duas não sondadas.

Serão contemplados locais indicativos de solo de baixa resistência (brejos, banhados, áreas inundáveis) e os casos particulares identificados como necessários para a definição do tipo de fundação a ser adotada. Após o término da locação das estruturas em perfil e planta, serão definidos os pontos a serem sondados.

As sondagens do tipo SPT devem seguir rigorosamente as disposições da Norma NBR 6484 – Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos, tanto nos procedimentos aplicados, como no equipamento utilizado (o diâmetro do amostrador, o peso e a altura de queda serão aqueles padronizados pela Norma).

3.3.1.1 Profundidade Mínima

A profundidade mínima da sondagem SPT deve ser determinada a partir dos critérios de paralisação descritos abaixo:

3.3.1.2 Critérios de Paralisação

A sondagem poderá ser paralisada mediante o enquadramento do perfil de resistência em um dos critérios indicados a seguir:

- a) Se for obtido penetração inferior ou igual a 5 cm durante 10 golpes consecutivos;
- b) Se em 30cm ou menos de cravação, for obtido um NSPT representativo igual ou superior a 50 golpes, garantindo-se assim o impenetrável;
- c) Após se atingir 7 metros de profundidade forem obtidos 3 metros sucessivos com penetração igual ou superior a 15 golpes para a cravação dos 30 cm finais do amostrador;
- d) Se após 10 metros de profundidade forem obtidos 5 metros sucessivos com penetração igual ou superior a 12 golpes para a cravação dos 30 cm finais do amostrador;

3.3.1.3 Amostragem e Resistência à Perfuração

- e) Até 1,0 m de profundidade devem ser coletadas com o trado duas amostras de solo (uma a cada 0,5 m); a partir daí devem ser obtidas amostras a cada metro de perfuração através do amostrador padrão;
- f) A cada metro de profundidade, o número de golpes do amostrador padrão (diâmetro interno 1 1/3" e externo 2") sob ação de peso de 65 kg sob queda a uma altura de 75 cm, deve ser anotado para penetrar três séries de 15 cm, sucessivamente. Os valores a serem considerados como representativos correspondem às duas últimas séries, isto é, o número de golpes para penetrar os 30 cm finais;
- g) As amostras de solos coletadas através do trado ou do amostrador padrão deverão ser devidamente acondicionadas, com clara indicação do local e profundidade onde foram extraídas, para envio ao laboratório e posterior análises e verificações.

3.4 Registro do Nível D'água

- a) Ao realizar as sondagens, deve-se estar atento quanto à presença de nível d'água durante o processo de furação, tendo-se o cuidado para que águas superficiais não penetrem no furo;
- b) O sondador deve registrar o nível d'água na planilha sempre que ficar evidenciada de forma clara a existência de lençol freático elevado no local (próximo a banhado, lago, arroio, rio, etc).
- c) Se ocorrer presença de água, no final da perfuração, deve-se seguir as recomendações da Norma NBR 9603, isto é, fazer leituras do nível d'água de 5 em 5 minutos, durante 30 minutos seguidos.
- d) Havendo nível d'água proveniente de lençol freático elevado, necessariamente após 24 horas, pelo menos uma nova leitura do nível d'água no furo deverá ser registrada.

3.5 Localização das Sondagens

3.5.1 Orientação e nomenclatura dos pés e estais da torre

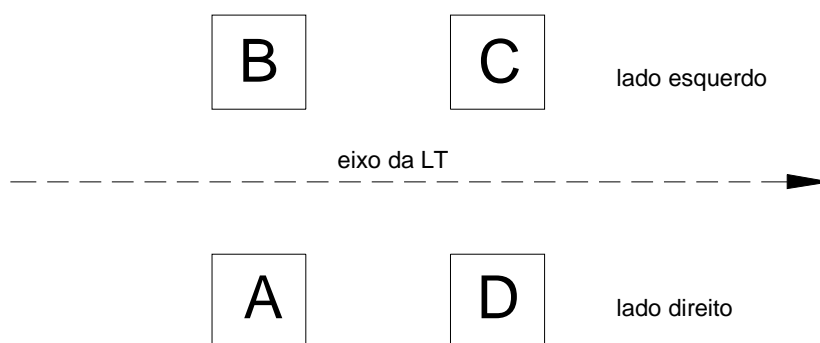


Figura 1: Esquema para nomenclatura dos pés e estais

3.5.2 Localização dos Pontos de Sondagem

- a) As sondagens serão realizadas nos locais de implantação das torres, a uma distância $D = 1,0$ m a vante do marco de centro da torre.
- b) Os documentos de projeto referentes à localização dos pontos a serem sondados são os seguintes:
 - Lista de Torres com os dados de identificação e locação de cada torre onde serão realizadas sondagens tipo SPT.
- a) O sondador, ao localizar o marco da torre, pintado de vermelho, deve ter o cuidado de verificar se a estaca de identificação existente ao lado do marco confere com o número da torre;
- b) Adicionalmente, para garantir que a sondagem será executada no lugar certo, deve-se ainda verificar com uma trena, a distância a um dos piquetes de amarração correspondente, a ré ou a vante. A amarração contém o número da estaca e a distância, precedida de um sinal (+) ou (-), em relação ao marco de centro da torre. Se o sinal for positivo (+), significa que estando-se sobre o piquete de amarração, a distância a medir até o marco de centro da torre, tem o sentido do destino da LT, a vante. Para distância negativa (-), significa que a medida da distância do piquete de amarração até a torre é no sentido contrário ao crescente da LT, isto é, deve-se voltar em direção à origem da LT;
- c) A execução da sondagem deve ser feita somente quando o sondador não tiver dúvidas do posicionamento da torre. Sempre que ocorrer algum tipo de problema, como, por exemplo, não for encontrado o marco ou piquetes de amarração ou os

alinhamentos dos eixos da torre, o fato deve ser levado ao conhecimento da fiscalização, para providências.

3.6 Relatórios

Os resultados das sondagens SPT deverão ser apresentados por meio de planilhas e deverão conter, no mínimo, as informações descritas no item abaixo.

3.6.1 Sondagens SPT

Os resultados deverão ser apresentados individualmente, por torre, via boletim, e deverão conter no mínimo, as seguintes informações:

- a) Identificação do furo (local da sondagem, nº da torre) e data da execução;
- b) Especificação do equipamento empregado: diâmetro interno e externo do amostrador, peso do pilão e altura de queda, tubo de revestimento, etc;
- c) Indicação do nível a partir do qual o ensaio foi feito com processo de lavagem;
- d) Cota do terreno referida aos piquetes do levantamento topográfico;
- e) Perfil da sondagem com as cotas e classificação das camadas de solo;
- f) Posição das amostras retiradas;
- g) Resistência à penetração do barrilete amostrador (NSPT) registrado a cada metro de profundidade, com o respectivo gráfico representativo;
- h) Descrição detalhada dos casos de ocorrência de impenetrabilidade;
- i) Nível do lençol d'água (inicial e após 24 horas);
- j) Utilização ou não de revestimento;
- k) Outras eventuais informações importantes ao projeto.

3.7 Outras Informações a Incluir no Relatório

O relatório deverá conter a identificação, registro no CREA e assinatura do(s) responsável (is) técnico(s) pelas sondagens.

3.8 Documentação

3.8.1 Registros

- Planilha de Sondagem SPT (perfil)
- Relatório Descritivo Resumido

4 FUNDAÇÕES

4.1 Torres Estaiadas

Será utilizada torre estaiada monomastro de suspensão tipo CEL.

4.1.1 Fundações para Mastros Centrais

As fundações para mastros centrais serão executadas em sapatas ou tubulões, variando-se as dimensões em função das características do solo.

4.1.2 Fundações para Estais

As fundações para os estais poderão ser executadas em tubulões, blocos ou tirantes ancorados em rochas. A escolha de cada tipo será definida em função das características do solo e das condições de acesso ao local da fundação.

Os estais serão fixados às fundações por meio de sistema de ancoragens apropriados.

A solução em tubulão é constituída por elementos moldados "in loco", em concreto armado, com dimensões e profundidades racionalmente determinadas, onde são fixadas as ancoragens.

A solução em bloco é constituída por elementos tetraédricos, moldados "in loco", em concreto armado, com dimensões e profundidades racionalmente determinadas, onde são fixadas as ancoragens.

A solução em tirantes ancorados em rocha consiste na fixação das ancoragens diretamente sobre a rocha, de acordo com diâmetros e profundidades racionalmente definidas.

4.2 Torres Autoportantes

Serão utilizadas torres autoportantes de suspensão tipos CSL, CSP e CTR e torres de ancoragem tipos CA1, CA2 e CAT.

As fundações para as torres autoportantes poderão ser executadas em tubulões, sapatas, tubulões ancorados em rocha ou Blocos ancorados em Rocha. A escolha de cada tipo será definida em função das características do solo e das condições de acesso ao local da fundação.

A solução em tubulão é constituída por elementos moldados "in loco", em concreto armado, com dimensões e profundidades racionalmente determinadas, onde são fixados os stubs.

A solução em sapata é constituída por elementos moldados "in loco", em concreto armado, com o fuste acompanhando o ângulo de inclinação dos stubs.

A solução em tubulão ou bloco ancorado em rocha é constituída por elementos moldados "in loco", sem alargamento de base, em concreto armado, com dimensões e profundidades racionalmente determinadas, ancorados na rocha através de tirantes.

5 CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO DAS FUNDAÇÕES

5.1 Cargas nas Fundações

As cargas nas fundações serão obtidas a partir das memórias de cálculo das torres que compõem a série a ser utilizada.

5.2 Dimensionamento das Fundações

O dimensionamento à tração (arrancamento) será elaborado à partir da metodologia desenvolvida pelo professor J. Biarez (Universidade de Grenoble) e pelo eng^o Y. Barraud (EDF).

O dimensionamento à compressão, com as cargas horizontais associadas, utilizará o método da tensão admissível, combinada com os momentos devidos às cargas horizontais, resultando em um caso de dimensionamento por flexão composta.

5.3 Dimensionamento das Estruturas em Concreto Armado

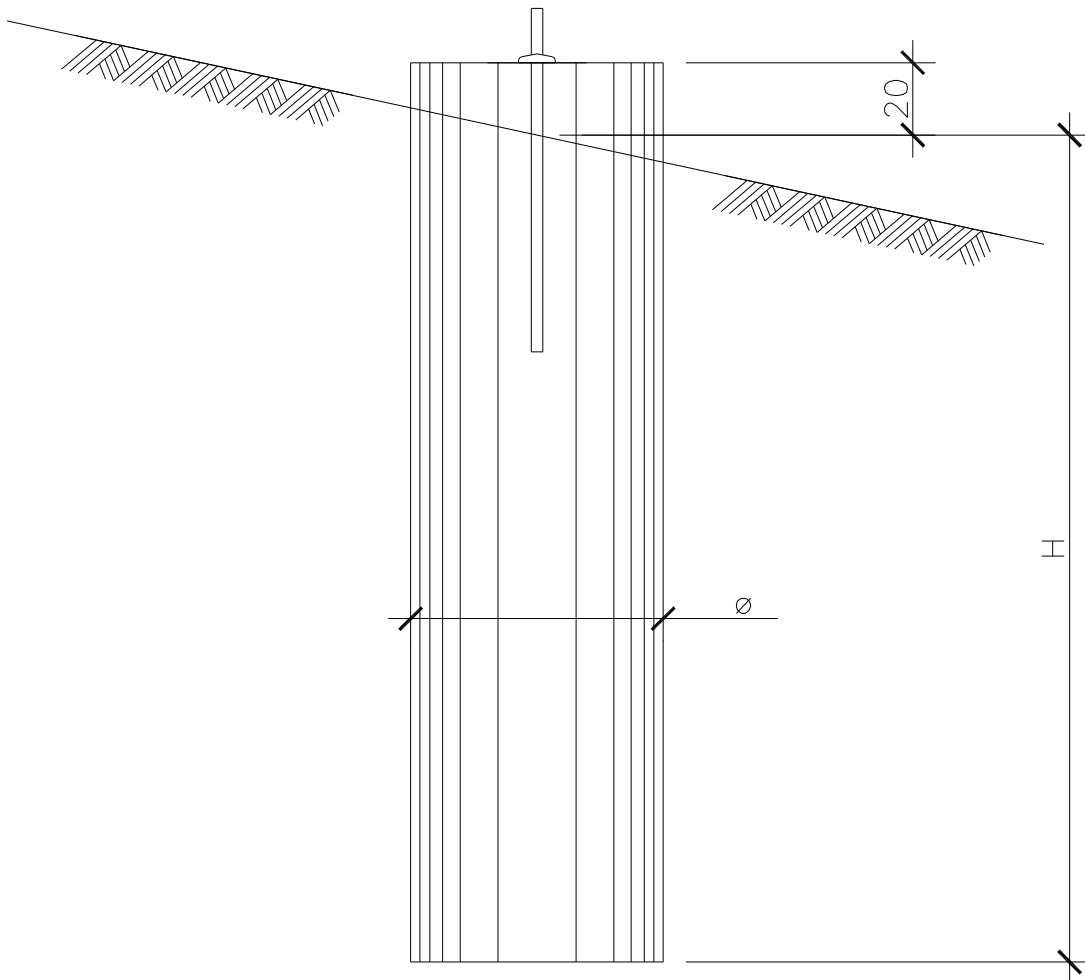
Para o dimensionamento das estruturas em concreto armado, serão utilizados os valores indicados a seguir, referidos ao estado limite último.

Critério de Dimensionamento	Valor Adotado
a) Deformação específica do concreto comprimido	$\varepsilon_c \leq 3,5 \text{ ‰}$
b) Deformação específica da armadura tracionada	$\varepsilon_s \leq 10 \text{ ‰}$
c) Resistência à Compressão do concreto	
c.1) Concreto moldado “in situ”	$f_{ck} \geq 20 \text{ MPa}$
c.2) Concreto pré-moldado	$f_{ck} \geq 20 \text{ MPa}$
c.3) Concreto simples	$f_{ck} \geq 10 \text{ Mpa}$
d) Tensão de cálculo no concreto	$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\delta_c}$ $\delta_c = 1,4$
e) Tensão de cálculo no aço	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\delta_s}$ $\delta_s = 1,15$
f) Tensão de cálculo nos chumbadores	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\delta_s}$ $\delta_s = 1,5$
g) Aço da armadura	CA 50
h) Cobrimento da armadura	4 cm

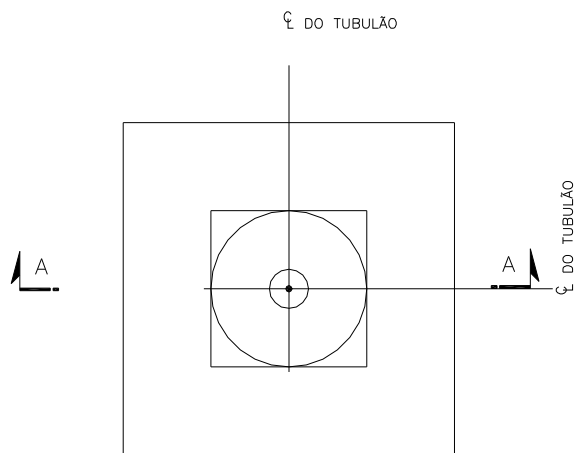
6 FIGURAS

6.1 Estruturas Estaiadas

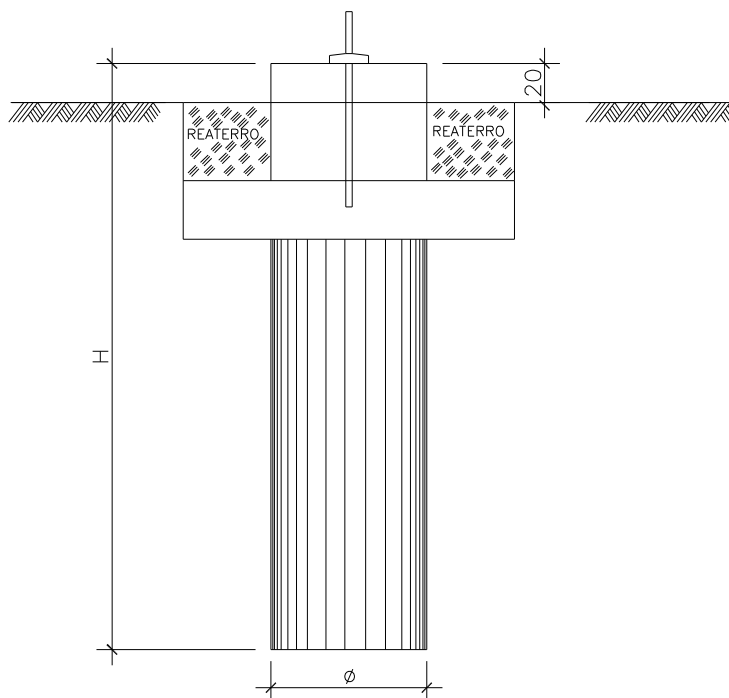
- **Fundação em Tubulão para Mastro Central**



- **Fundação em Tubulão com Laje para Mastro Central**

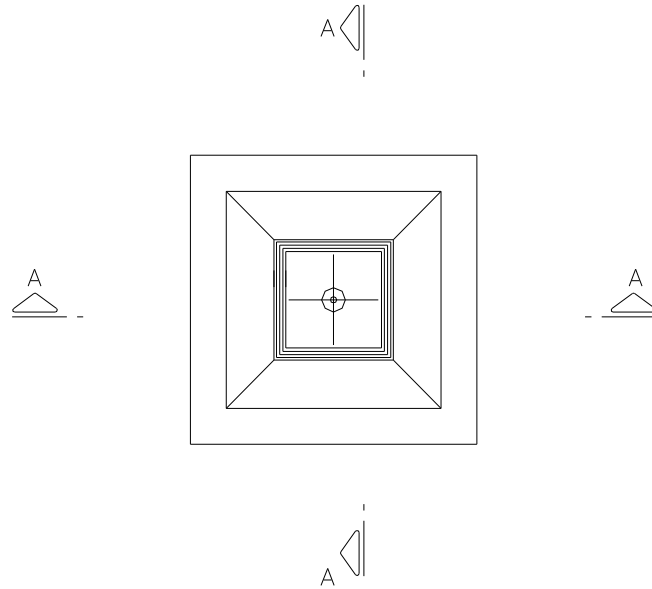


PLANTA

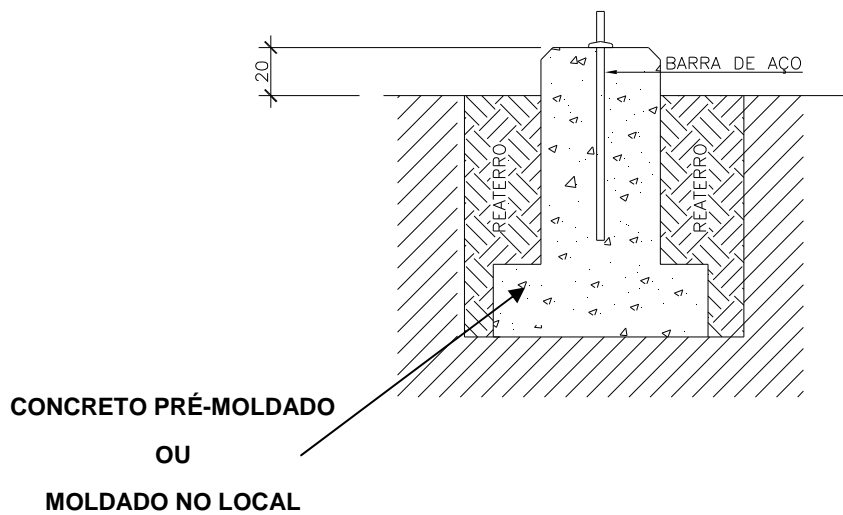


CORTE A-A

- **Fundação em Sapata para Mastro Central**

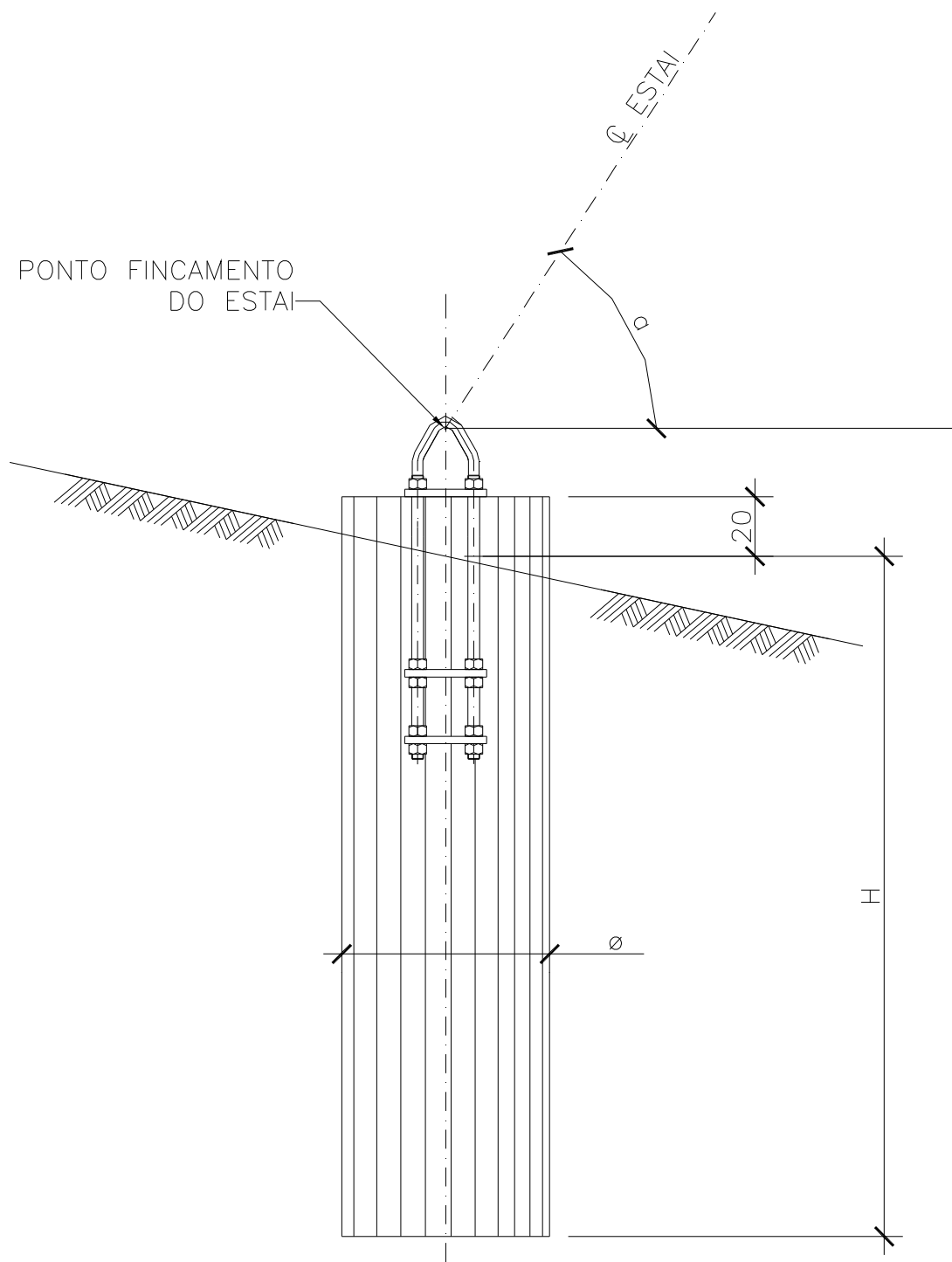


PLANTA

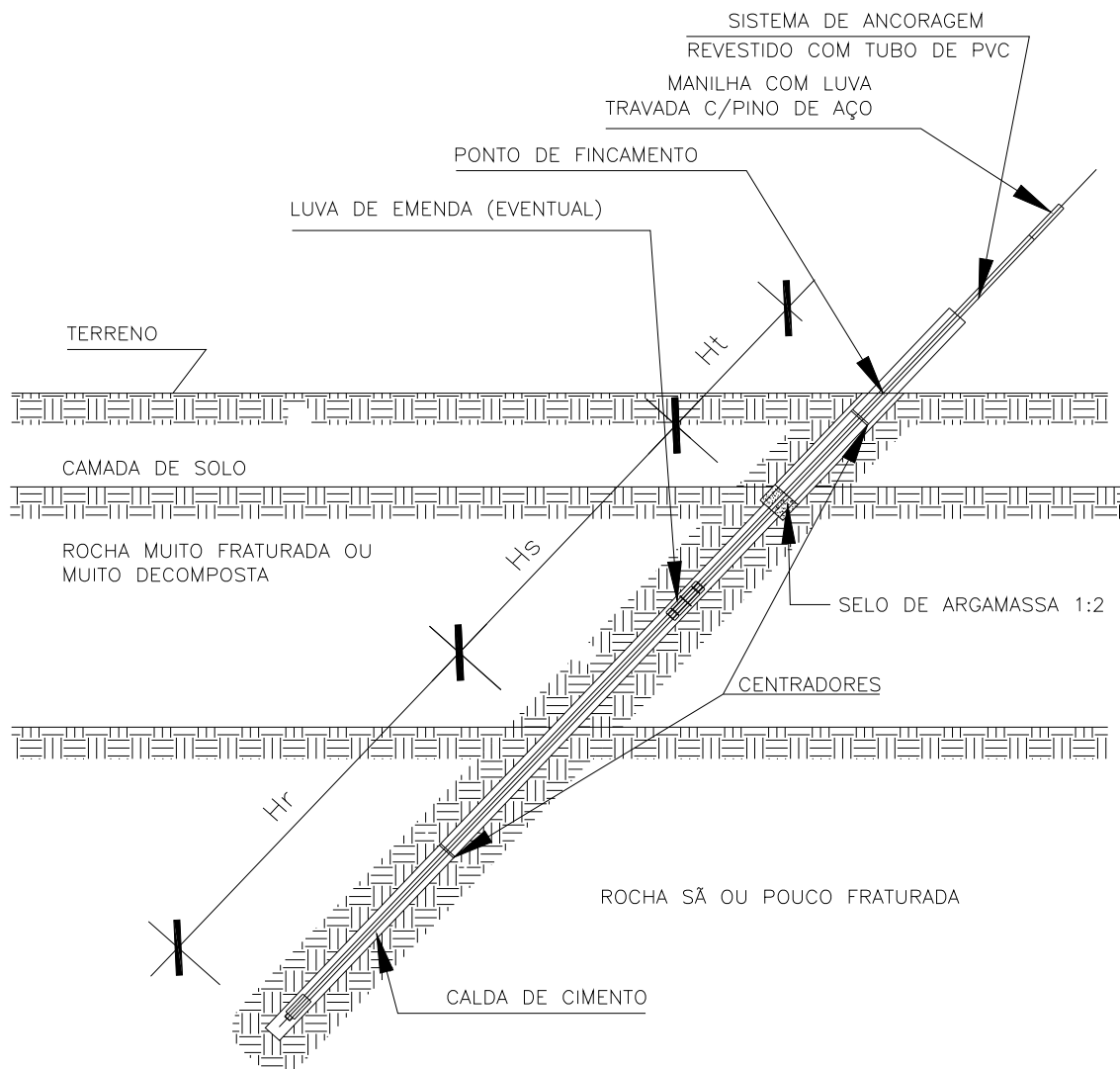


SEÇÃO A-A

- **Fundação em Tubulão com Grampo U para Estais**



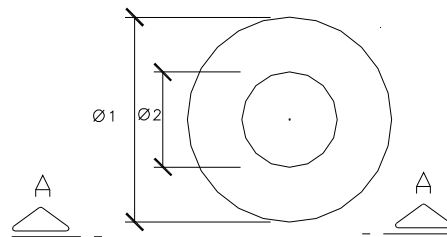
- Fundação Ancorada em Rocha com Haste Metálica para Estais



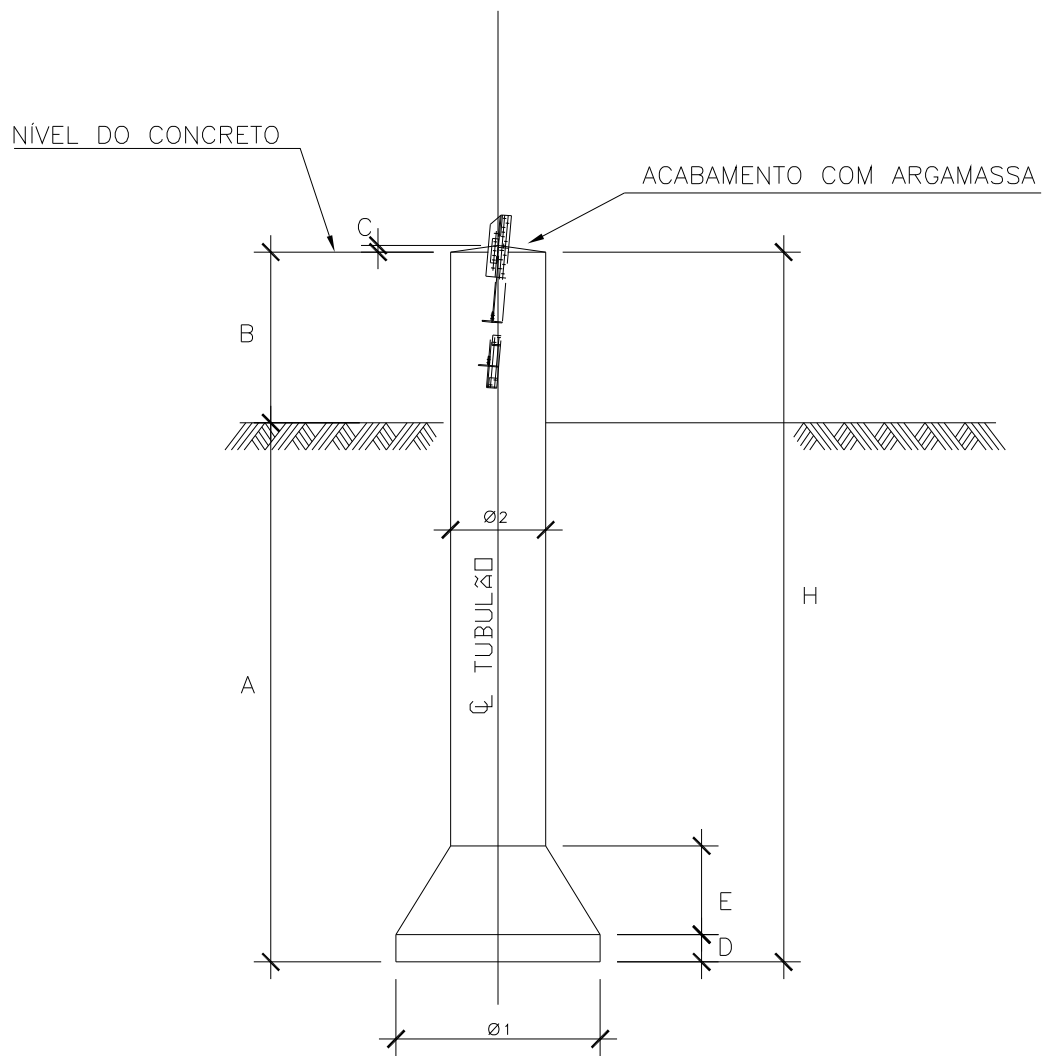
SEÇÃO TÍPICA

6.2 Estruturas Autoportantes

- Fundação em Tubulão

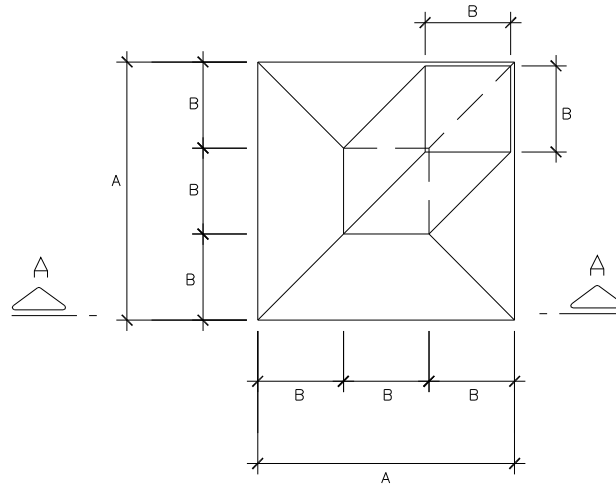


FORMA – PLANTA

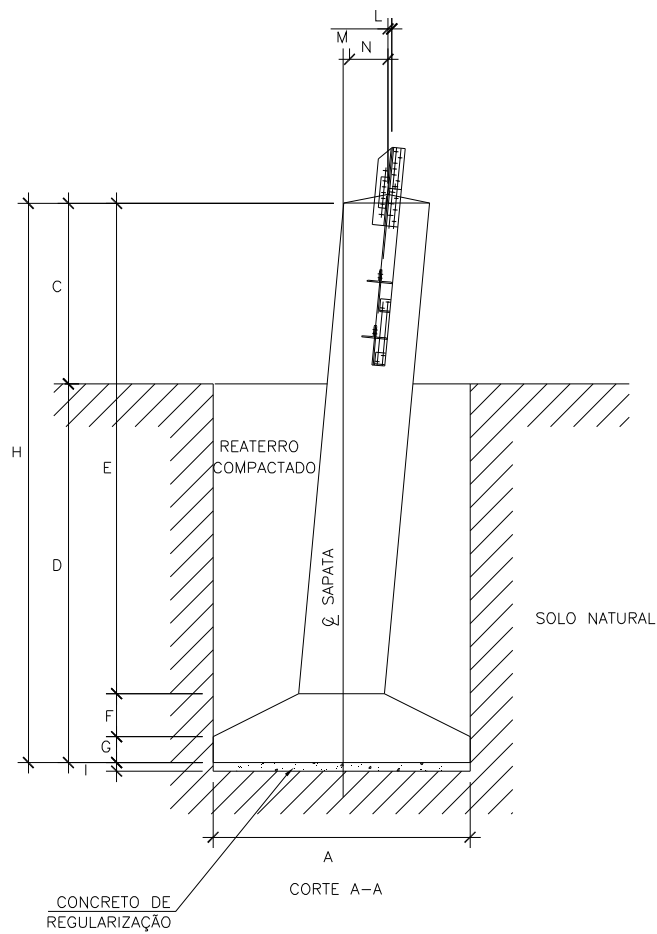


CORTE A-A

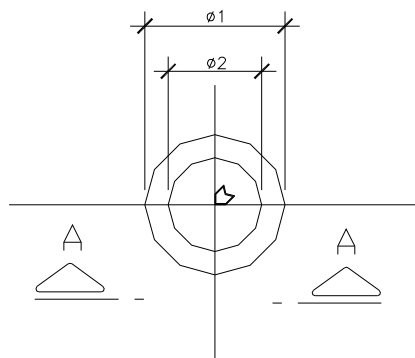
- **Fundação em Sapata**



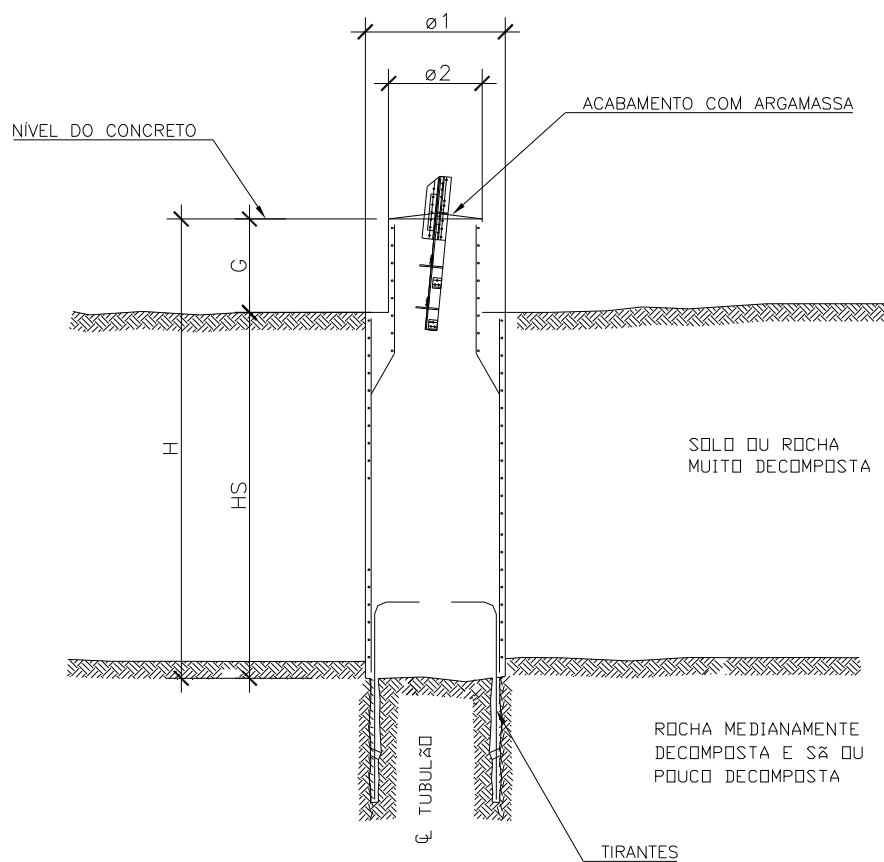
FORMA - PLANTA



- **Fundação em Tubulão Ancorado em Rocha**



FORMA - PLANTA



CORTE A-A

- **Fundação em Bloco Ancorado em Rocha**

