

## Flutuação de Tubos ADS Tigre

### Introdução

A leveza dos tubos de polietileno de alta densidade (PEAD) e polipropileno (PP) os torna atrativos devido à facilidade de manuseio e instalação. No entanto, essa mesma característica também os torna propensos à flutuação. Todos os materiais de tubulação – incluindo concreto ou ferro fundido – estão sujeitos à flutuação quando a força de empuxo excede o peso do tubo e das cargas aplicadas sobre ele. Quando há possibilidade de flutuação, é essencial garantir uma instalação ou ancoragem adequada. Este documento apresenta uma análise da altura mínima de recobrimento necessária para evitar a flutuação de tubos termoplásticos com diâmetros de 300 mm a 1500 mm. Também são discutidas forças de empuxo geradas por preenchimento com Material de Baixa Resistência Controlada (CLSM).

### Empuxo Hidrostático devido ao Lençol Freático Alto

A flutuação se torna um problema quando o lençol freático invade a zona do tubo. Em projetos com presença de água ao redor da tubulação, é necessário tomar precauções para evitar que o tubo flutue. A força de empuxo vertical causada pela água ( $U$ ) deve ser equilibrada com a sobrecarga do solo e o peso do tubo. A fórmula para cálculo da força de empuxo é:

$$U = \frac{\pi}{4} D^2 \delta_w \quad [1]$$

Onde:

$U$  = Kg/m linear de tubo

$D$  = diâmetro externo do tubo, em metros (m)

$\delta_w$  = peso unitário da água = 1.000 Kg/m<sup>3</sup>.

### Cálculo da Sobreposição de Solo ( $W_{solo}$ )

A força de empuxo deve ser equilibrada com a carga do solo de preenchimento e o peso da tubulação para garantir que ela não flutue. As cargas de preenchimento experimentadas pela tubulação em diferentes alturas do lençol freático ( $W_{solo}$ ) podem ser calculadas por meio da Equação [2]. A Figura 1 ilustra cada um dos três casos possíveis de serem observados em campo, em instalações onde a flutuação se torna um fator a ser considerado, e também esclarece todos os parâmetros da Equação [2].

$$W_{solo} = \delta_{seco} H_{seco} D + (\delta_{sat} \delta_w) (H_{sub} + 0,1073D) D \quad [2]$$

Onde:

$W_{solo}$  = peso de sobrecarga do solo por metro linear do tubo, Kg/m

$\delta_s$  = peso unitário do solo seco, Kg/m<sup>3</sup>

$H_{seco}$  = altura do solo seco, m

$H_{sub}$  = altura do solo submerso, m.

$\delta_{sat}$  = peso unitário do solo saturado, Kg/m<sup>3</sup>

$\delta_{sat} - \delta_a$  = peso unitário do solo submerso, Kg/m<sup>3</sup>

Figura1. Condições de instalação com possibilidade de flutuação dos tubos ADS Tigre

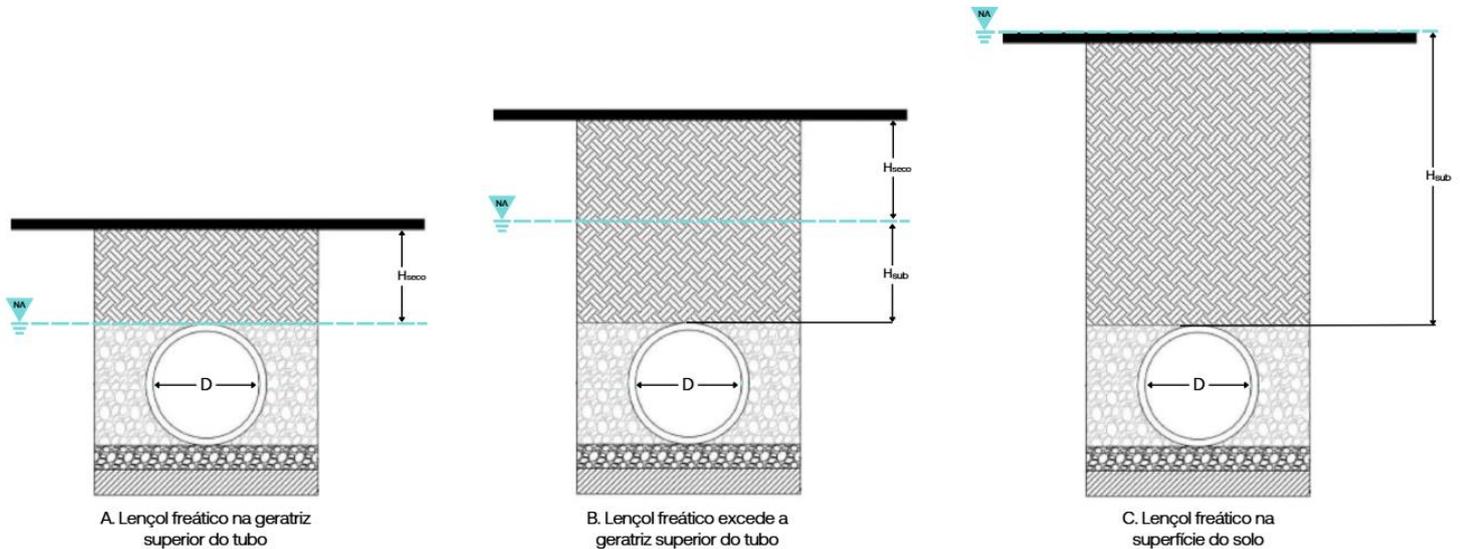
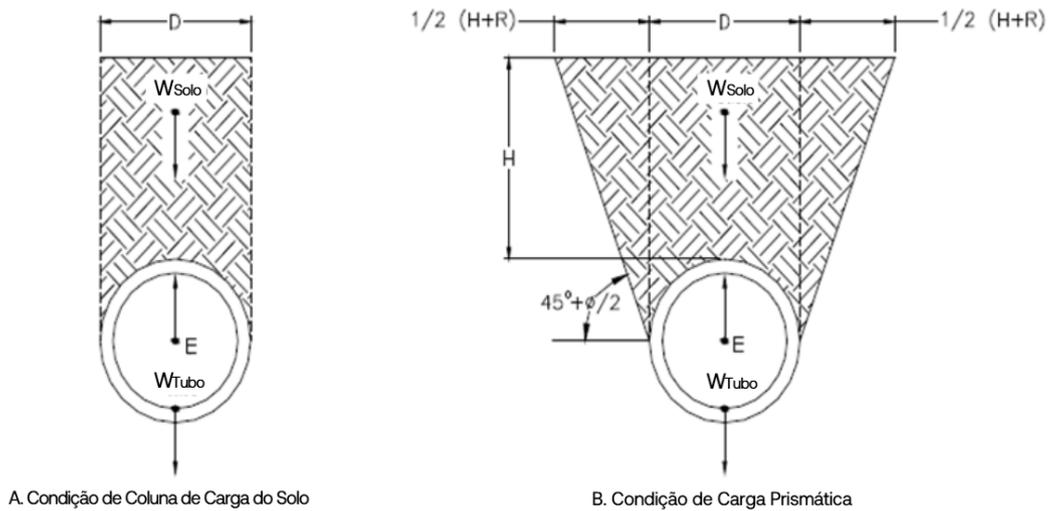


Tabela1. Peso Aproximado por Diâmetro dos Tubos ADS Tigre

Diâmetro Nominal (mm)	Diâmetro Nominal (in)	Diâmetro Externo (mm)	Peso Linear (kg/m)
100	4	120	0,45
150	6	240	0,85
200	8	359	1,55
250	10	460	2,3
300	12	577	3,3
375	15	717	4,6
450	18	901	6,6
600	24	919	11
750	30	1054	16,1
900	36	1216	17,9
1050	42	1216	26,4
1200	48	1374	34,2
1500	60	1699	45,2

A altura mínima de recobrimento (H), necessária para resistir à flutuação, pode ser calculada igualando a massa total das forças verticais que agem sobre o tubo às forças de empuxo. Embora existam diferentes métodos para considerar a distribuição da carga de solo sobre a tubulação, considerando uma abordagem conservadora, assumiu-se toda carga de coluna de solo diretamente apoiada sobre o diâmetro externo do tubo, como mostrado na Figura 2A.

**Figura 2. Forças que Afetam a Flutuação**



Para evitar a flutuação, a força total descendente (peso do solo + peso do tubo) deve ser maior ou igual à força de empuxo. Assim, a altura do recobrimento mínimo é calculada utilizando as equações [3] e [4].

$$U \leq W_{\text{solo}} + W_{\text{tubo}} \quad [3]$$

Onde:

$W_{\text{tubo}}$  = peso linear do tubo, em Kg/m (ver tabela 1)

$$H = H_{\text{seco}} + H_{\text{sat}} \quad [4]$$

A Tabela 2 abaixo fornece o recobrimento mínimo considerado a fim de prevenir a flutuação dos tubos corrugados ADS TIGRE.

**Tabela 2. Recobrimento Mínimo Recomendado para Prevenir a Flotação de Tubos ADS Tigre**

Diâmetro Nominal (mm) (in)		Recobrimento Mínimo (mm) (in)	
100	4	106	3,1
150	6	154	6,1
200	8	202	8,0
250	10	252	9,9
300	12	322	12,7
375	15	392	15,4
450	18	480	18,9
600	24	637	25,1
750	30	800	31,5
900	36	944	37,1
1050	42	1.027	40,4
1200	48	1.227	48,3
1500	60	1.542	60,7

Para calcular os recobrimentos mínimos que aparecem na Tabela 2, foram utilizados os seguintes pressupostos.

1. Considerou-se a tubulação vazia, o que representa uma condição conservadora, pois aumenta a tendência à flutuação.
2. O diâmetro externo do tubo foi utilizado para calcular tanto o empuxo quanto a carga de solo.
3. Adotou-se uma densidade do solo saturado de 2,08 t/m<sup>3</sup> (130 lb/ft<sup>3</sup>), valor típico para solos com boa compactação. Solos com maior densidade reduzem a probabilidade de flutuação.
4. Assumiu-se o lençol freático na superfície do terreno, simulando o pior cenário possível de saturação, conforme ilustrado na Figura 1 (c), simulando um solo completamente saturado. Essa suposição cria uma condição mais desfavorável, resultando em cálculos mais conservadores.
5. A carga de solo foi considerada como um prisma diretamente acima do tubo, conforme indicado na Figura 2(a).
6. Foi aplicado fator de segurança 1,5 nos cálculos de recobrimento mínimo.
7. O responsável técnico pode, sob sua responsabilidade, utilizar outros critérios diferentes dos indicados entre os pontos 1 e 7.
8. Para aplicações em que as condições de instalação sejam diferentes das aqui apresentadas, a possibilidade de flutuação deve ser revisada com base nas condições específicas de cada projeto.
9. Em situações onde não há risco de flutuação ou preenchimento líquido, o recobrimento mínimo das tubulações de PEAD, por critérios estruturais, é de 30 cm para diâmetros entre 100 mm e 1200 mm, e de 60 cm para diâmetros de 1500 mm, conforme orientações das **Notas Técnicas 2.02 e 2.07**.

Para aplicações onde as condições de instalação são diferentes das acima referidas, a possibilidade de flotação deve ser revista com base nas condições específicas de cada projeto.

**Exemplo:** Calcular o recobrimento mínimo exigido para evitar a flutuação de tubos ADS Tigre de 1200mm de diâmetro, quando o lençol freático atinge a superfície. O peso específico do solo seco e saturado é de 1.760 kg/m<sup>3</sup> e 2.080 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

### Solução:

$$W_{solo} = \delta_{seco} H_s D + (\delta_{sat} \delta_w)(H_{sub} + 0,1073D)D$$

Considerando que o lençol freático atinge a superfície conforme Figura 1(c), tem-se que  $H_s = 0$ , portanto, o primeiro termo da equação (2) é zero:

Assim:

$$W_{suelo} = 0 + (2.080 - 1.000)(H_{sum} + 0,1073)(1,369)1,369$$

$$W_{suelo} = 0 + (2.080 - 1.000)(H_{sum} + 0,147)(1,369)$$

$$W_{suelo} = (1.080 H_{sub} 1,369) + 217,34$$

Considerando:

$$U \leq W_{solo} + W_{tubo} \quad \text{onde} \quad U = \frac{\pi}{4} (1,369\text{m})^2 \left( 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1.472 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \quad \text{e} \quad W_{tubo} = 45,61$$

$$1.472 = (1.080 H_{sub} 1,369) + 217,3 + 45,61$$

Portanto:  $H_{sub} = 0,818 \text{ m}$

Finalmente, aplicando um coeficiente de segurança de 1,5 (ver Base de Cálculo da Tabela 2):

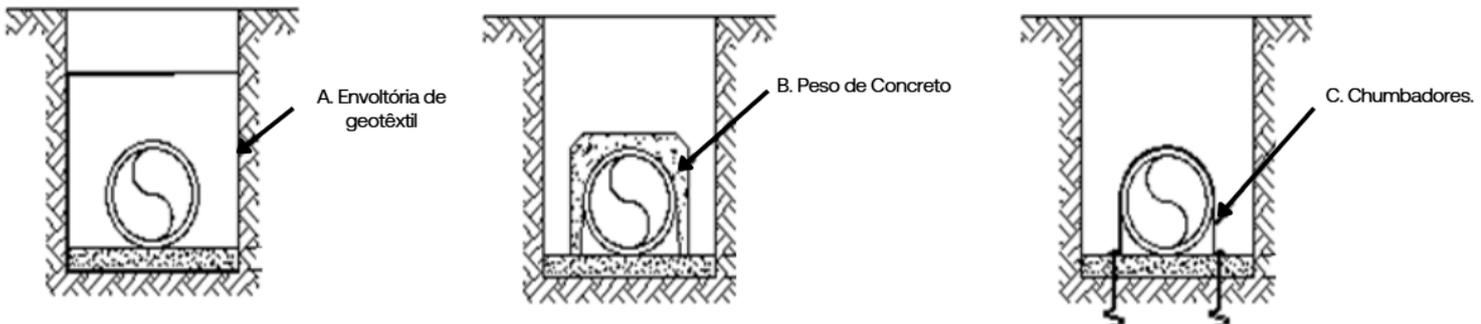
$$H_{sum} = 1,227 \text{ m} = \mathbf{1227\text{mm}}$$

Este cálculo é conservador, uma vez que o ângulo de atrito do solo ( $\phi$ ) e o coeficiente de esforço lateral do solo ( $K_o$ ) não estão sendo considerados. Um engenheiro geotécnico deve definir estes parâmetros que se fossem incluídos nos cálculos a altura de recobrimento calculada poderia ser reduzida. Além disso, o responsável técnico pelo dimensionamento pode, sob sua responsabilidade, adotar outros critérios diferentes dos indicados nesta nota técnica.

### Sistema de ancoragem:

Em muitos casos, a flutuação das tubulações pode ser solucionada simplesmente com um recobrimento adequado. Quando não é possível atingir esse recobrimento mínimo, existem diversos métodos alternativos aceitáveis para restringir a flutuação da tubulação. Alguns exemplos estão ilustrados na Figura 3. Devido às variações nas densidades do solo em campo, nas alturas do lençol freático e na capacidade de restrição dos ancoramentos, o engenheiro deve avaliar as condições específicas do projeto para evitar a flutuação, determinando o tipo e o espaçamento dos ancoramentos mais adequados. O espaçamento máximo entre os pontos de ancoragem não deve exceder aproximadamente 3 metros. Assim, garante-se que a tubulação esteja ancorada em cada junta e no ponto médio de cada segmento, assegurando uma estabilização adequada.

Figura 3. Alternativas de Estabilização de Tubos



### Flutuação Devido a Preenchimentos Líquidos

Os materiais de Baixa Resistência Controlada (CLSM, Controlled Low Strength Material, em inglês) ou Solo Cimento como é conhecido, são um tipo de preenchimento líquido que consiste principalmente, em solo-cimento, areia, água e cinzas volantes. O empuxo vertical pode ser calculado conforme a Equação (5):

$$U = \frac{A_{\text{desp}} \delta_{\text{CLSM}}}{144} \quad [5]$$

onde,

$A_{\text{desp}}$  = Área do Tubo deslocada pelo Solo Cimento,  $m^2$

$\delta_{\text{CLSM}}$  = Peso Específico do Solo cimento,  $Kg/m^3$

$U$  = Empuxo Vertical devido ao Preenchimento com Solo cimento,  $Kg/m$

Dada a grande diferença entre os pesos específicos da água e do CLSM, a força de flutuação exercida pelo CLSM pode ser até duas vezes maior que a força de flutuação hidrostática. Quando se utiliza CLSM, a ausência de carga de solo de recobrimento faz com que a tubulação flutue; portanto, ela deve ser ancorada para manter seu alinhamento e inclinação adequados. Comumente, essa ancoragem é feita com barras de reforço em forma de X sobre a parte superior da tubulação e nas paredes laterais da vala, com o uso de CLSM seco como elemento de ancoragem, ou por meio de outro sistema disponível no mercado.

O espaçamento entre os pontos de ancoragem pode variar de acordo com o diâmetro da tubulação, a altura das camadas de aplicação do CLSM e o tipo de ancoragem adotado. O projetista deve considerar esses fatores para assegurar que a tubulação permaneça corretamente posicionada na vala durante a colocação do material. O espaçamento máximo entre ancoragens não deve exceder 3 metros, de modo que a tubulação esteja ancorada, no mínimo, em cada junta e no ponto médio de cada segmento (considerando comprimento padrão de 6 m), garantindo assim uma estabilização adequada.

Após definir o espaçamento entre os pontos de ancoragem, deve-se selecionar o tipo de ancoragem com base nos esforços que precisarão ser resistidos para evitar a flutuação. Considerando a variação nas misturas de CLSM, nos pesos específicos do terreno e nas forças envolvidas, cabe ao engenheiro geotécnico avaliar as condições específicas do projeto para definir o tipo e o espaçamento ideal das ancoragens.