

## Métodos para prevenção de flutuação dos tubos Tigre-ADS

### Introdução

A leveza dos tubos de polietileno de alta densidade (PEAD) faz com que seu uso seja muito atraente por causa da facilidade de manuseio e instalação, esse benefício ocorre a tubos termoplásticos que são propensos a flutuação. Para todos os tubos, incluindo concreto ou ferro fundido, é provável que haja flutuação sob certas situações. Quando a força de empuxo produzida por um líquido sob o material da tubulação é maior que seu próprio peso mais a sobrecarga, ele irá emergir. Quando houver possibilidades de flutuação é importante realizar uma instalação adequada e/ou ancoragem correta do tubo. Este documento apresenta uma análise das condições de recobrimento mínimo para impedir a flutuação dos tubos de polietileno de alta densidade entre 100 e 1500 mm (4" a 60"). As forças de empuxo exercidas pelos fluidos de preenchimento como Material de Baixa Resistência Controlada (CLSM: *Controlled Low Strength Material*, em inglês) como solo-cimento e concreto, também serão discutidas.

### Força de Empuxo Hidrostático na presença de Lençol Freático Alto

A flutuação torna-se um problema quando as águas subterrâneas invadem a área do tubo. Para projetos onde se prevê a presença de água no solo ou no lençol freático ao redor do tubo, os cuidados devem ser tomados para evitar a sua flutuação. Fornecer uma quantidade mínima de reaterro contribuirá a evitar a flutuação da tubulação.

A força hidrostática de empuxo vertical (U) produto do lençol freático, pode ser facilmente calculada com a Equação (1):

$$U = \frac{\pi}{4} D^2 \delta_w \quad (1)$$

onde: U = kgf/m ao longo do tubo  
 D = diâmetro externo do tubo, em (m)  
 $\delta_w$  = peso específico da água = 1.000kgf/m<sup>3</sup>.

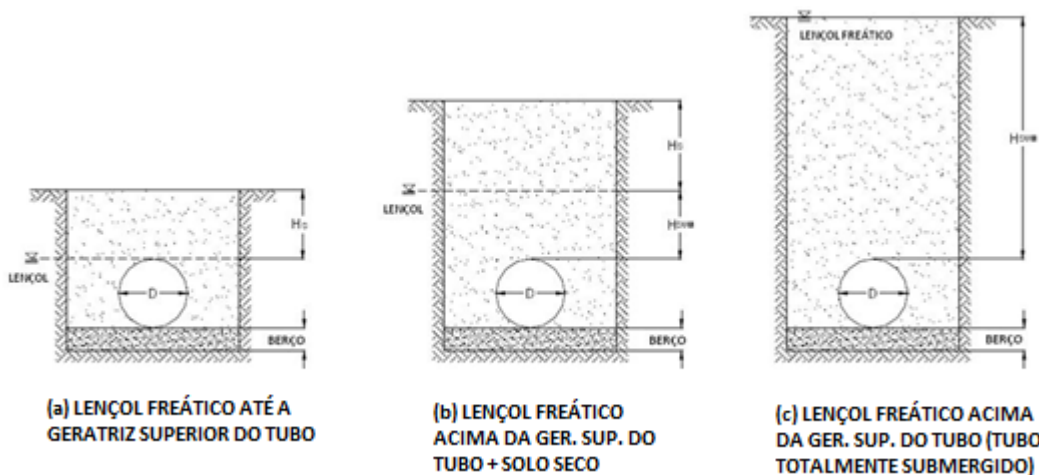
A força de empuxo deve ser equilibrada com a carga de preenchimento e o peso do tubo para assegurar que este não emerja. As cargas de preenchimento experimentadas pela tubulação em diferentes alturas de lençol freático ( $W_{solo}$ ) podem ser calculadas usando a Equação (2). A figura 1 ilustra cada um dos três possíveis casos observados em instalações de campo, onde a flutuação se torna uma questão a considerar e também esclarece todos os parâmetros da Equação (2).

$$W_{solo} = \delta_s H_s D + (\delta_{sat} - \delta_w)(H_{sub} + 0,1073D)D \quad (2)$$

Onde:  $W_{solo}$  = peso de sobrecarga do solo, kgf/m linear do tubo  
 $\delta_s$  = peso unitário seco do solo, kgf/m<sup>3</sup>  
 $H_s$  = profundidade do solo seco, m  
 $H_{sub}$  = profundidade do solo submerso sobre a geratriz superior do tubo, m  
 $\delta_{sat}$  = peso unitário do solo saturado, kgf/m<sup>3</sup>  
 $\delta_{sat} - \delta_w$  = peso unitário do solo submerso, kgf/m<sup>3</sup>

**Figura1**

**Condições de instalação com possibilidade de flutuação dos tubos Tigre-ADS**



Os pesos típicos dos tubos Tigre-ADS ( $W_{\text{tubo}}$ ) e valores médios do seu diâmetro externo são mostrados na Tabela 1.

**Tabela1**

**Peso Aproximado e Diâmetro Externo médio de Tubos Tigre-ADS**

Diâmetro Nominal (mm)	Diâmetro Externo (mm)	Peso Linear do Tubo (kg/m)
100	121	0,67
150	177	1,33
200	240	2,33
250	304	3,50
300	359	4,83
375	448	6,83
450	545	9,83
600	717	16,33
750	901	24,00
900	1054	28,17
1050	1216	37,33
1200	1374	46,33
1500	1699	67,33

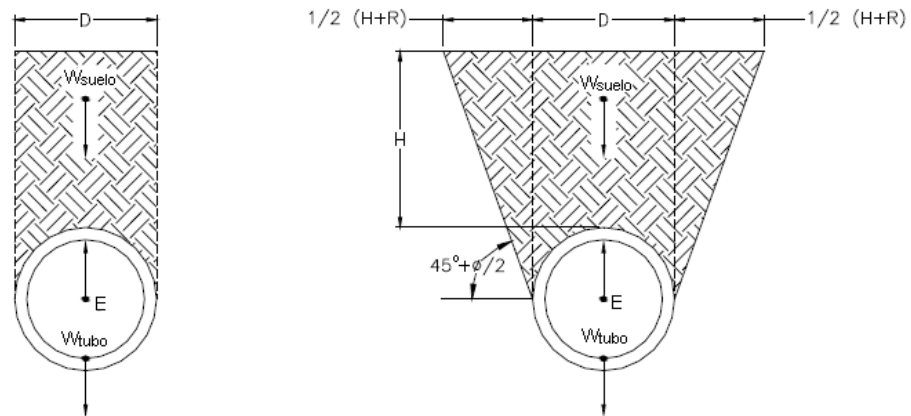
A altura mínima de recobrimento (H), necessária para resistir à flutuação, pode ser calculada igualando a massa total das forças verticais agindo sobre o tubo com as forças de flutuação. Embora existam diferentes métodos para considerar a distribuição da carga de terra sobre a tubulação, para uma cobertura mínima conservadora, a carga do solo é assumida como a coluna de solo diretamente sobre o diâmetro externo do tubo, como mostrado na Figura 2 (a). Assim, a quantidade de recobrimento mínimo é calculada utilizando equações (3) e (4).

$$U \leq W_{solo} + W_{tubo} \quad (3)$$

$$H = H_s + H_{sub} \quad (4)$$

onde  $W_{tubo}$  = peso linear do tubo, em kgf/m, (ver tabela 1)

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



(a) Condição de Coluna de Carga do Solo

(b) Condição de Carga Prismática

A Tabela 2 abaixo fornece o recobrimento mínimo calculado para prevenir a flutuação dos tubos corrugados TIGRE-ADS.

**Tabela 2**  
**Recobrimento Mínimo Recomendado para Prevenir a Flutuação de Tubos Tigre-ADS**

<b><i>Diâmetro Nominal (mm)</i></b>	<b><i>Recobrimento Mínimo (mm)</i></b>	<b><i>Diâmetro Nominal (mm)</i></b>	<b><i>Recobrimento Mínimo (mm)</i></b>
100	106	600	637
150	154	750	800
200	202	900	944
250	252	1050	1027
300	322	1200	1227
375	392	1500	1542
450	480		

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

1. Considerou-se que a tubulação estivesse vazia. Isso não apenas simplifica os cálculos, mas é conservadora porque a tubulação vazia é mais propensa a flutuação. Esta condição é improvável que se encontre em uma instalação real.
2. O diâmetro externo da tubulação foi usado para determinar a carga de solo e água deslocada.
3. A densidade do solo saturado usado foi de 2,08 tonf/m<sup>3</sup> (130 lb/ft<sup>3</sup>), que é um valor típico para uma variedade de misturas de solos saturados. Solos com maior densidade reduzem a probabilidade de flutuação.
4. Considerou-se uma condição de lençol freático até a superfície do solo, como mostrado na Figura 1 (c), simulando um solo completamente saturado. Este pressuposto cria o pior caso, de modo a produzir resultados mais conservadores.
5. As recomendações de recobrimento mínimo para os tubos Tigre-ADS e uma configuração de carga de solo conforme ilustrado na Figura 2a.
6. Para fins estruturais, considera-se um recobrimento mínimo de 30 cm para os tubos de até 1200 mm de diâmetro e 60 cm mínimo para tubos de 1500 mm.
7. Os recobrimentos mínimos foram calculados utilizando um fator de segurança de 1,5.
8. Para aplicações onde as condições de instalação são diferentes das acima referidas, a possibilidade de flutuação deve ser revista com base nas condições específicas de cada projeto.

**Exemplo:** Calcular o recobrimento mínimo exigido para evitar a flutuação de tubos Tigre-ADS 1200mm de diâmetro, quando o lençol freático atinge a superfície. A unidade de massa do solo seco e saturado é de 1.760 kgf/m<sup>3</sup> (110 lb/ft<sup>3</sup>) e 2.080 kgf/m<sup>3</sup> (130 lb/ft<sup>3</sup>), respectivamente.

**Solução:**

$$U \leq W_{solo} + W_{tubo}$$

$$W_{tubo} = 46,33 \text{ kgf/m}^3 \text{ (ver Tabela 1)}$$

$$U = \frac{\pi}{4} (1,374m)^2 (1000 \text{ kgf/m}^3) = 1.481 \text{ kgf/m}$$

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

Assim,

$$W_{solo} + W_{tubo} = (2.080 - 1.000)[H_{sub} + (0,1073)(1,374)](1,374) + 46,33$$

A equação 3 fica:  $1.481 = 1.483,92H_{sub} + 265,05$

Portanto:  $H_{sub} = 819,4 \text{ mm}$

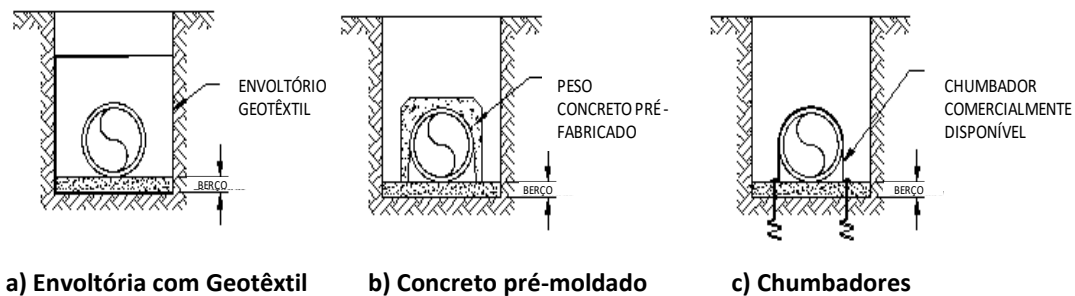
Finalmente, calculando o recobrimento mínimo da equação (4) e aplicando um fator de segurança igual a 1,5 (ver bases de cálculo da Tabela 2 – item 7):

$$H = H_{sub} = 1.227 \text{ mm}$$

Este cálculo é conservador, uma vez que o ângulo de atrito do solo -  $\phi$  (Figura 2b) e o coeficiente de esforço lateral do solo -  $K_0$ , não estão sendo considerados. A definição destes parâmetros deve ser deixada para o engenheiro geotécnico. Se estes parâmetros fossem incluídos nas estimativas anteriores a altura de recobrimento exigido se reduziria.

Caso não seja possível obter um recobrimento adequado para prevenir a flutuação, deve-se selecionar um método de estabilização alternativo. Alguns exemplos de outros métodos são mostrados abaixo na Figura 3.

**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) 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):

$$U = \frac{A_{desl} \delta_{CLSM}}{144} \quad (5)$$

onde,  $A_{desl}$  = Área do Tubo deslocada pelo CLSM,  $m^2$   
 $\delta_{CLSM}$  = Peso Específico de CLSM,  $kgf/m^3$   
 $U$  = Empuxo Vertical devido ao Preenchimento CLSM,  $kgf/m$

Dada a grande diferença no peso específico da água e do CLSM, a força de empuxo exercida pelo CLSM pode ser até duas vezes maior que a força de empuxo hidrostático. Ao se utilizar do CLSM, a ausência de carga do

solo de recobrimento proverá a flutuação do tubo, portanto, este deve ser ancorado para manter o seu alinhamento e inclinação adequados.

A ancoragem é comumente feita com barras de reforço na forma de X na parte superior do tubo e nas paredes laterais da vala, utiliza-se CLSM seco como ancoragem, ou outro sistema de ancoragem disponível no mercado.

O espaçamento da ancoragem pode variar de acordo com o diâmetro da tubulação, a altura das camadas de colocação do CLSM e do tipo de ancoragem. O projetista deve considerar estes fatores para garantir a posição correta do tubo na vala durante a colocação do preenchimento líquido.

O espaçamento máximo entre a ancoragem não deve exceder os 3 metros, de modo que o tubo seja ancorado pelo menos em cada junta e no ponto médio de cada faixa (comprimento padrão de 6 m), para assegurar uma adequada estabilização.

Após a determinação do espaçamento entres as ancoragens, deve-se escolher o tipo de ancoragem a ser utilizada com base nos esforços que devem suportar para impedir a flutuação.

Dada a variação de misturas do CLSM, bem como a densidade do solo e as forças de ancoragem utilizadas, o engenheiro geotécnico, deve avaliar as condições do projeto para determinar o tipo e espaçamento da ancoragem para evitar a flutuação.

Muitas vezes, a flutuação pode ser tratada e evitada com um recobrimento adequado. Em situações onde não se pode alcançar um recobrimento adequado, existem métodos alternativos para evitar a flutuação. Mesmo sob condições de colocação de um preenchimento líquido, uma ancoragem adequada mantém o alinhamento e a declividade corretos.

## Tratando a água de infiltração devido ao lençol freático alto

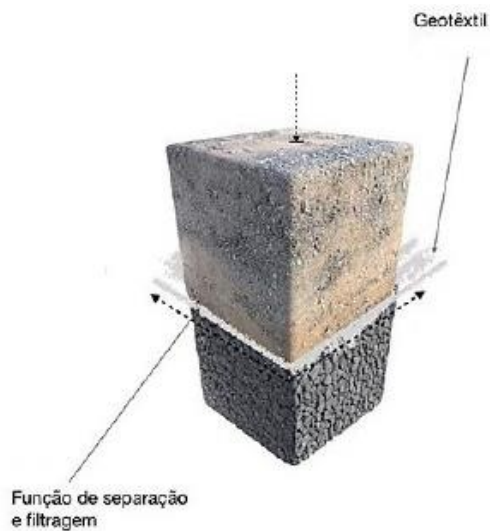
Para os casos onde há grande influência de infiltração de água devido ao lençol freático elevado, conforme Figura 01, onde a cota do N.A. extrapola a espessura da camada de berço, deve-se adotar medidas a fim de criar um caminho preferencial para a água de infiltração.

Uma alternativa é envolver a vala de drenagem com manta de geotêxtil não-tecido e preenchê-la usando brita graduada como material de envoltória da tubulação.

Nesse caso a manta geotêxtil não-tecido atuará como filtro, separando os finos (do reaterro final) da brita graduada (do material de envoltória). Proporcionando a necessária percolação de água pela envoltória da tubulação, garantindo assim a resistência mecânica do sistema solo-tubo.

Segue abaixo um esquema do arranjo manta geotêxtil não-tecido + brita graduada:

**Figura 4**  
Alternativas para águas de infiltração na vala de drenagem



*Para a seção típica do arranjo manta geotêxtil não-tecido + brita graduada e da estabilização do fundo de vala, com as espessuras de camada e recobrimentos mínimos e máximos recomendados, verificar o projeto padrão Tigre ADS: STD-103.*