

## Reaterro de Solo Cimento para Tubos Corrugados em PEAD

### Introdução

O uso do preenchimento fluido, também conhecido como **material controlado de baixa resistência (CLSM)**, **preenchimento de densidade controlada (CDF)** ou **slurry fill**, como material de base e reaterro para tubulações, tem aumentado significativamente. O termo "solo cimento" abrange uma variedade de materiais de preenchimento que são usados como alternativa ao reaterro granular compactado. Esses materiais são compostos por uma mistura de areia, cimento Portland, cinza volante Classe C ou Classe F e água.

Além disso, a mistura é tipicamente fluida e autonivelante no momento da aplicação. O solo cimento é uma alternativa ao solo convencional ou ao reaterro com brita e tem sido utilizado em instalações específicas de tubulação há algum tempo. Sua principal vantagem é proporcionar resistência adequada rapidamente, com um sistema de aplicação eficiente.

Mesmo com essas vantagens, é necessário que sua aplicação seja controlada e que se tenha cuidado para garantir a instalação adequada.



### Uso de Reaterro Solo Cimento

Abaixo estão algumas vantagens e desvantagens a serem consideradas ao especificar ou recomendar o uso do solo cimento em um projeto.

### Vantagens

- Permite a abertura de valas mais estreitas e reduz a interferência no solo natural.
- Elimina a necessidade de compactação do reaterro.
- Assegura a distribuição adequada do suporte ao redor do tubo.
- Reduz o volume de material escavado no projeto.
- Requer menos tempo, pessoal e equipamentos para instalação em comparação com o reaterro convencional, particularmente em solos com granulação fina.
- Pode ser produzido no local usando solo nativo como parte da mistura, onde houver disponibilidade de areia ou silte arenoso.
- Tempo e equipamento necessário para teste de resistência à compressão são geralmente menores que os exigidos para testar a compactação do solo.

## Desvantagens

- Mais caro que o reaterro granular devido à quantidade de componentes necessários e à logística especializada de entrega.
- A mistura inadequada dos componentes poderá causar dificuldades em escavações futuras, conexões ou extensões forem necessárias.
- Não pode ser estocado no canteiro de obras como o reaterro granular. O tempo economizado na instalação pode ser perdido esperando a entrega do solo cimento pronto para uso.
- Se não forem tomadas precauções, o risco de flutuação do tubo é alto durante a instalação.

## Composição

A formulação do solo-cimento para reaterro está além do escopo deste documento. No entanto, é essencial garantir que a mistura seja projetada para oferecer resistência adequada, mantendo a possibilidade de escavações futuras, se necessário. Recomenda-se que a resistência à compressão fique entre **50 psi e 100 psi** após **28 dias de cura**. Misturas com resistência superior a **100 psi** devem ser evitadas, pois podem dificultar futuras intervenções. A mistura deve apresentar fluidez suficiente para preencher todos os vazios entre o tubo e as paredes da vala. Antes da aplicação, a composição do solo-cimento deve ser testada em laboratório para assegurar que os parâmetros projetados sejam alcançados na execução em campo. Durante a instalação, pode ser necessário realizar monitoramento e ajustes para manter as propriedades desejadas da mistura. Essas variações podem ocorrer devido a fatores como **teor de água, temperatura e umidade no momento da aplicação**.

## Considerações de Instalação

### Meio Ambiente

O reaterro de solo cimento não pode ser usado em todas as condições climáticas. Recomenda-se que a temperatura ambiente esteja acima de **4°C** e que o solo exposto ao solo cimento não esteja congelado. Além disso, a aplicação não deve ocorrer sob chuvas intensas e deve ser protegida de temperaturas muito baixas.

### Juntas

Para aplicação de solo cimento, é recomendado o uso de juntas estanques. Com outros tipos de juntas, medidas de precaução devem ser tomadas para evitar infiltrações. Partículas finas no material de preenchimento não podem se infiltrar nas juntas. Isso dependerá quase inteiramente da consistência da mistura.

## Colocação de Reaterro Solo Cimento

A escavação da vala deve seguir os procedimentos normais e estar em conformidade com as normas de segurança da NR-18 (Norma Regulamentadora de Segurança na Construção Civil). A largura da vala será determinada pela resistência do solo nativo. Caso o material in loco tenha boa resistência, como rocha ou solos de alta capacidade de suporte, a vala pode ter espaçamento reduzido para **150 mm** de cada lado do tubo, desde que haja espaço suficiente para a aplicação adequada do solo cimento.

A Tabela 1 ilustra as larguras típicas de vala para instalação de reaterro solo cimento. Em casos de solo mole, pode ser necessário aumentar a largura da vala para garantir a estabilidade da instalação. Após a escavação até a profundidade e inclinação especificadas no projeto, a tubulação poderá ser posicionada. O tubo deve ser assentado na vala e conectado conforme as diretrizes de instalação recomendadas na documentação técnica.

**Tabela 1**  
**Larguras de Vala Recomendadas para Reaterro Solo Cimento**

Diam. Nominal mm (in)	Vala Mínima m
300 (12)	0.60
375 (15)	0.70
450 (18)	0.80
600 (24)	1.00
750 (30)	1.30
900 (36)	1.50
1050 (42)	1.70
1200 (49)	1.90
1500 (60)	2.30

\*AASHTO LRFD Seção C12.6.6.1, 2006

Durante a instalação, recomenda-se o uso simultâneo de um sistema de ancoragem e a aplicação do preenchimento em camadas sucessivas. A Figura 1 apresenta recomendações sobre a altura das camadas e as forças de ancoragem necessárias. É essencial que o preenchimento seja distribuído de maneira uniforme em ambos os lados do tubo para evitar tensões desbalanceadas que possam comprometer a estabilidade da tubulação.

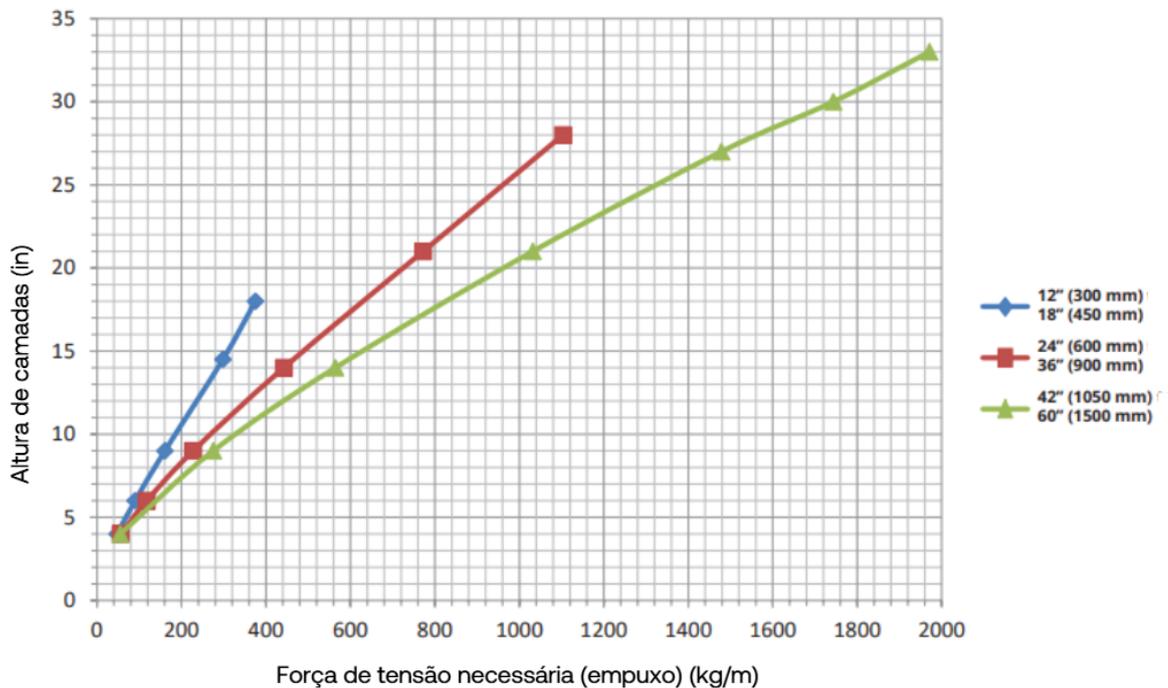
Cada camada deve ter um tempo de espera antes da aplicação da próxima, conforme especificado pelo engenheiro responsável pelo projeto. Esse tempo de cura inicial varia de acordo com a composição da mistura, a temperatura ambiente e a umidade do local. Para determinar o intervalo ideal entre as camadas, recomenda-se consultar o responsável técnico pela mistura. Em geral, a resistência à compressão do concreto fluido atinge 40 a 60 psi (0,27 a 0,41 Mpa) após uma semana.

Atenção: O uso de plastificantes ou outros aditivos pode afetar significativamente o tempo de cura e a resistência final do material. Na maioria dos projetos, o trabalho pode ser retomado entre 4 e 6 horas após a aplicação final do solo cimento. Embora a aplicação em camadas seja a prática mais recomendada, pode-se optar pela aplicação contínua caso um sistema adequado de contenção contra flutuação tenha sido projetado e instalado corretamente (ver recomendações na Tabela 2).

Caso seja necessário adicionar uma camada extra de solo ou outro material sobre o solo cimento para atingir o nível final do subleito do projeto, essa nova camada não deve ser aplicada antes que o solo cimento tenha atingido a resistência mínima à compressão especificada pelo engenheiro de projeto. Se essa resistência não for previamente determinada, e restrições de tempo impedirem a realização de ensaios com corpos de prova, pode-se utilizar os métodos normativos ASTM C403 e ASTM D6024 para verificar se o material já adquiriu resistência suficiente.

Como a umidade favorece o processo de cura, pode ser benéfico aplicar uma camada fina de solo (aproximadamente 150 mm) sobre o concreto fluido, ajudando a manter a umidade e aprimorar a resistência final do material.

Figura 1. Altura de Camadas Recomendadas



\*Assumir um peso unitário de solo cimento de 150 pcf (~2.400 kg/m<sup>3</sup>) e nenhuma água no tubo no momento da colocação

### Sistemas de Ancoragem

Provavelmente a maior preocupação relacionada ao reaterro com solo cimento durante a instalação é a tendência de flutuação do tubo. Problemas de flutuação e desalinhamento são extremamente críticos e não devem ser ignorados. Ao utilizar este tipo de preenchimento, a ausência do peso sobre o tubo permitirá que ele flutue, já que o peso próprio do tubo não compensa a força de empuxo exercida pelo preenchimento fluido. Portanto, é essencial que a tubulação seja ancorada para manter o alinhamento e a inclinação pretendidos. Há vários métodos aceitáveis para ancorar tubos na vala.

Pode-se presumir que antes do endurecimento, o preenchimento fluido atua como um líquido com uma densidade de 2.200 kg/m<sup>3</sup> (~140 pcf) a 2.400 kg/m<sup>3</sup> (~150 pcf). Quando corretamente projetados, os sistemas de ancoragem devem ser dimensionados para compensar as forças de flutuação exercidas pelo solo-cimento ainda em estado fluido. Após o endurecimento do material de reaterro, a flutuação da tubulação deixa de ser uma preocupação.

Alguns métodos para evitar a flutuação da tubulação incluem o uso de solo-cimento seco, solo nativo compactado ou sacos de terra posicionados a cada poucos metros para adicionar peso sobre o tubo. Também pode-se utilizar barras de reforço dispostas em 'X' sobre a tubulação, ancoradas nas paredes laterais da vala, ou ainda o uso temporário de equipamentos de construção, como a lança de caminhão ou a caçamba de escavadeira, para manter o tubo no lugar durante o processo de cura do material. Métodos comerciais específicos também podem ser viáveis, desde que devidamente projetados. O espaçamento e a configuração final do sistema de contenção devem ser determinados pelo engenheiro responsável pelo projeto.

Para mais informações técnicas referentes à flutuação, consulte a **Nota Técnica 5.05: Flutuação de Tubos de PEAD**.