XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/121

Tirantes Autoinjetáveis Inclinados para Contenção e Verticais em Lajes De Subpresão - Caso de Obra

Fernanda Barros Guerra Araujo
Assistente de Engenharia Civil, Geofix Engenharia e Fundações LTDA, Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade São Judas, São Paulo, Brasil, fernanda.guerra@geofix.com.br

João Alberto Klimaitis
Engenheiro Coordenador do Setor Tirantes-Raiz, Geofix Engenharia e Fundações LTDA, São Paulo, Brasil, joao.klimaitis@geofix.com.br

Marcio Abreu de Freitas
Engenheiro Civil Geotécnico, Geofix Engenharia e Fundações LTDA, São Paulo, Brasil, marcio.freitas@geofix.com.br

Juliana Martins de Oliveira Silva
Engenheira de Produção, Geofix Engenharia e Fundações LTDA, São Paulo, Brasil, juliana.oliveira@geofix.com.br

RESUMO: Os tirantes autoinjetáveis constituem uma solução executiva eficiente, pois integram perfuração, instalação e injeção em uma única etapa, reduzindo o tempo de execução e as perturbações no solo. Em solos arenosos, esse método também contribui para o controle da água e das pressões do terreno. Em regiões litorâneas, a predominância de solos arenosos e os elevados níveis freáticos impõem desafios à execução de subsolos, especialmente quanto ao controle das pressões hidrostáticas atuantes sobre as contenções e lajes de fundo. Em uma obra próxima à praia da Barra da Tijuca, no Rio de Janeiro, foram executados dois subsolos com contenção em parede diafragma com tirantes provisórios em cordoalha e autoinjetáveis com angulações verticais. Devido ao nível freático elevado, adotou-se a execução de tirantes autoinjetáveis verticais permanentes, distribuídos em sapatas, para resistir às pressões hidrostáticas ascendentes atuantes sobre a laje de subpressão, executada em dois blocos no último nível do subsolo. Este artigo apresenta os aspectos executivos dos tirantes autoinjetáveis aplicados à contenção e às lajes de subpressão, destacando a importância da caracterização geotécnica para a definição de soluções seguras e adequadas em obras com elevado nível freático.

PALAVRAS-CHAVE: Tirantes Verticais, Laje de Subpressão, Tirantes Autoinjetáveis, Lençol Freático.

ABSTRACT: Self-Injection Anchors constitute an efficient construction solution, as they integrate drilling, installation, and grouting into a single operation, reducing execution time and minimizing soil disturbance. In sandy soils, this method also contributes to groundwater control and the management of ground pressures. In coastal regions, the predominance of sandy soils and high groundwater levels pose significant challenges for basement construction, particularly regarding the control of hydrostatic pressures acting on retaining structures and foundation slabs. In a project located near Barra da Tijuca Beach, Rio de Janeiro, Brazil, two basement levels were excavated using a diaphragm wall retaining system supported by temporary strand anchors and self-drilling anchors. Due to the high groundwater table, permanent vertical self-drilling anchors were installed and distributed among the footings to resist the hydrostatic uplift forces acting on the uplift-resistant foundation slab, which was constructed in two sections at the lowest basement level. This paper presents the construction aspects of self-drilling anchors applied to retaining structures and uplift-resistant slabs, highlighting the importance of geotechnical characterization in defining safe and appropriate solutions for projects subjected to high groundwater levels.

KEYWORDS: Vertical Anchors, Under-Pressure Slab, Self-Injection Anchors, Groundwater Table

1 INTRODUÇÃO

Em regiões litorâneas, há predominância de solos arenosos e nível elevado de lençol freático, característica que impõe desafios à execução de contenções e exige que sejam adotadas alternativas para mitigar as pressões ascendentes que a água exerce sobre a contenção e estruturas dos empreendimentos. A pressão da água nestes casos, chamada de subpressão, gera tensões de tração nas lajes de fundo e, em situações mais críticas, pode superar o peso próprio da estrutura, exigindo soluções de engenharia capazes de garantir a estabilidade e a segurança da obra. Nesse contexto, em um empreendimento localizado a aproximadamente 300 m da praia da Barra da Tijuca, adotou-se um sistema de contenção composto por tirantes provisórios inclinados e tirantes verticais permanentes associados às lajes de subpressão.

Os tirantes autoinjetáveis apresentam vantagens executivas relevantes, especialmente em ambientes com solos arenosos e saturados. A sua execução é facilitada pois a perfuração, instalação e injeção ocorrem simultaneamente, fator que gera menor perturbação do maciço das proximidades, além de contribuir para o controle das pressões da água durante a execução.

Nesta obra, executou-se, em todo o perímetro, uma parede diafragma de 40 cm de espessura e o primeiro subsolo é composto por tirantes convencionais em cordoalhas. No segundo subsolo, executou-se 69 tirantes autoinjetáveis inclinados, com diferentes ângulos de instalação. E, devido ao nível freático elevado, adotou-se a execução de 236 tirantes autoinjetáveis verticais permanentes, com inclinação de 90°, no piso do último subsolo, que foram distribuídos em conjuntos de 1 a 5 unidades cada em um total de 76 sapatas, para resistir às pressões ascendentes da água nos dois blocos de lajes de subpressão.

O artigo tem como foco apresentar os aspectos executivos adotados durante a obra, destacando a aplicação de tirantes autoinjetáveis na contenção do segundo subsolo, bem como a execução de tirantes verticais permanentes que serão incorporados às sapatas que atuam como base para a protensão e ancoragem dos tirantes e posteriormente como base para a laje de subpressão.

2 DEFINIÇÕES

2.1 Tirantes Autoinjetáveis

No sistema autoinjetável, a calda de cimento é utilizada como fluido de perfuração, e além de permitir o avanço da perfuração é responsável por criar o bulbo de ancoragem do tirante em uma única etapa, sem necessidade de demais fases com injeções de calda. Como resultado, obtém-se um ganho significativo de tempo em comparação aos métodos convencionais de atirantamento nos quais a perfuração e as etapas subsequentes de injeção são executadas separadamente.

Os tirantes autoinjetáveis são constituídos por tubos de aço sem costura e emendáveis por luvas, dotados de elevada resistência mecânica. Sua configuração permite a utilização como haste de perfuração, enquanto a seção interna oca possibilita a circulação do fluido até a extremidade da broca

A montagem do tirante é realizada em obra com barras, luvas de emenda, brocas e demais componentes fornecidos pelo fabricante. Durante a perfuração, executada por equipamentos rotativos ou rotopercussivos, a calda de cimento é bombeada pelo interior da barra até a broca. Por meio dos orifícios existentes na broca, a calda é injetada diretamente no terreno e forma o bulbo de ancoragem. Com isso, as etapas de perfuração, instalação e injeção ocorrem simultaneamente, conferindo maior agilidade ao processo executivo.

Uma das principais vantagens desse sistema está relacionada à sua aplicação em ambientes onde a presença de lençol freático elevado exerce influência significativa no comportamento do solo. Nessas condições, a metodologia autoinjetável apresenta melhor desempenho quando comparada a técnicas tradicionais, pois reduz as perturbações no terreno e provoca menor dano ao maciço, especialmente em solos já fragilizados ou com baixa coesão.

2.2 Laje de Subpressão

Em obras subterrâneas, especialmente em regiões onde o lençol freático exerce pressões significativas, torna-se necessário adotar soluções estruturais capazes de resistir às ações hidrostáticas atuantes na base da estrutura. Para isso, são dimensionadas as lajes de subpressão feitas em concreto armado.

O concreto é amplamente reconhecido como um material capaz de apresentar baixa permeabilidade, criando uma barreira eficiente à passagem de água. Por este motivo é utilizado em estruturas de contenção de solos e de armazenamento ou contenção de líquidos, como reservatórios, piscinas e barragens.

Estas lajes de subpressão têm como função conter as forças ascendentes exercidas pela água, entretanto, quando essa força da água é superior ao peso próprio da laje, faz-se necessária a utilização de outro sistema de ancoragem como tirantes verticais ou estacas tracionadas para evitar deslocamentos ou deformações elevadas.

3 CASO DE OBRA

O caso apresentado neste artigo é de uma obra localizada a aproximadamente 300 m do litoral da Barra da Tijuca, no Rio de Janeiro, região caracterizada pela presença de solos arenosos e nível freático elevado, condições que impõem desafios relevantes à execução de escavações profundas.

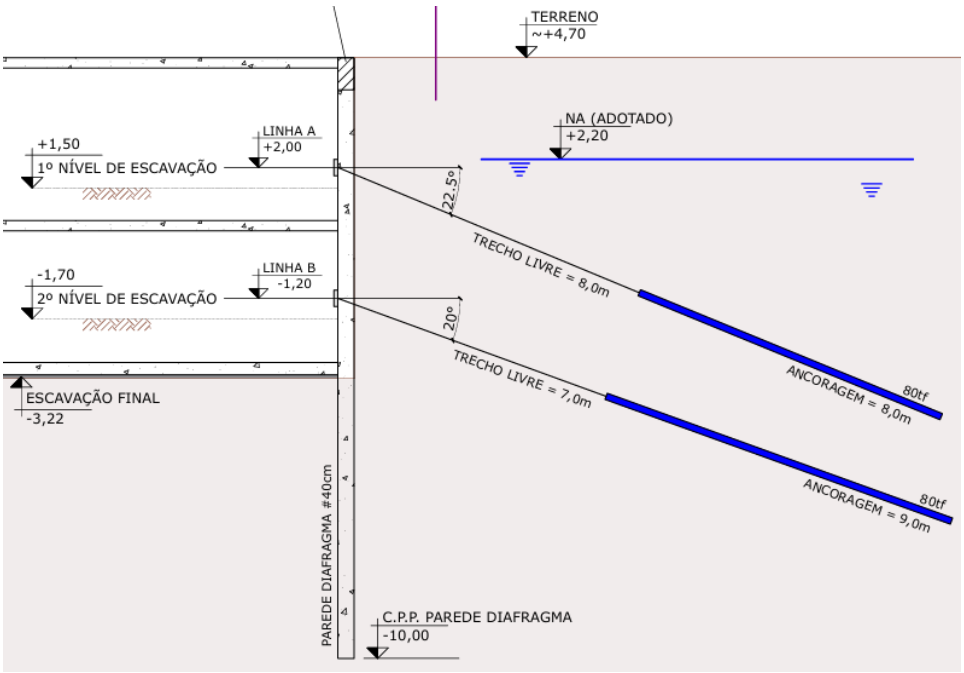


Figura 1. Detalhamento linhas de tirante. Fonte: Adaptado do projetista.

As investigações geotécnicas realizadas previamente por meio de sondagens a percussão e mistas, demonstraram a ocorrência de camadas arenosas com diferentes estados de compacidade, variando de areias finas a médias, e, em determinadas regiões a presença de silte e argila. Com o aumento da profundidade observa-se que os valores de NSPT vão aumentando gradativamente, apresentando valores superiores a 30 e chegando até 58 golpes. Além de apresentar uma média do nível do lençol freático a 2,70 metros da cota de início de execução da sondagem no local.

Para viabilizar a construção dos dois subsolos previstos desta obra, foi adotado um sistema de contenção composto por parede diafragma com espessura de 40 cm atirantada em dois níveis. No primeiro subsolo foram instalados 113 tirantes provisórios de cordoalhas compostos por 8 cabos de 12,7mm de diâmetro (tipo CP190RB), com comprimentos variando de 14,0 a 16,0 metros, inclinação em relação a horizontal de 22,5° e carga de trabalho de 80tf. No segundo subsolo executaram-se 69 tirantes autoinjetáveis provisórios, visto que neste nível o tirante seria perfurado e instalado completamente abaixo do nível do lençol freático. Estes tirantes foram executados com comprimentos variando de 14,50 a 16,0 metros, inclinação em relação a horizontal de 20°, carga de trabalho de 80tf, e modelo INCO 70TD (Fyd = 63 kgf/mm²).

3.1. Execução de Tirantes Autoinjetáveis na contenção (2ª linha)

Os tirantes autoinjetáveis são enviados à obra separados em elementos isolados e são montados in loco conforme avanço da perfuração. Além de acessórios como luvas de emenda e brocas de perfuração, nos trechos ancorados as barras de aço possuem pintura anticorrosiva, 3,0 metros de extensão e espaçadores a cada 1,0m, e nos trechos livres possuem um tubo PEAD revestindo toda sua extensão. Com todos os elementos necessários para iniciar a perfuração organizados sobre uma bancada de cavaletes, é feito o acoplamento da broca em uma parte de barra que é rosqueada em uma luva de emenda, conforme figuras a seguir.



Figura 2 e 3. Elementos de montagem – emenda, broca, luva de emenda, respectivamente. Fonte: Autor.

Posteriormente, essa broca é acoplada a uma barra inicial que será constituinte do trecho ancorado do tirante. As barras do trecho ancorado possuem os espaçadores para garantir a centralização da barra e o cobrimento mínimo de calda no trecho perfurado.

Ao finalizar o avanço de perfuração correspondente ao trecho ancorado, segue-se a inserção das barras correspondentes ao trecho livre. O revestimento de tubo PEAD é responsável por garantir a proteção da barra contra a calda de cimento, assegurando que esta barra possa se alongar livremente durante a protensão.



Figura 4. Barras trecho livre e ancorado. Fonte: Autor.



Figura 5. Execução autoinjetável inclinado. Fonte: Autor.

3.2. Autoinjetáveis verticais (laje de Subpressão)

Para estabilização e contenção das forças de tração que a pressão de água gera na laje de fundo do empreendimento, utilizou-se como solução tirantes autoinjetáveis verticais e permanentes com carga de trabalho de 40tf. Ao todo foram executados mais de 200 tirantes distribuídos em conjuntos de uma a cinco unidades em sapatas que servirão como base estável para a posterior concretagem das lajes de fundo.

Inicialmente é executada a perfuração e instalação do tirante em solo, com método executivo igual dos tirantes autoinjetáveis inclinados, diferindo apenas pelo posicionamento da perfuratriz com a torre na vertical em 90° e seguindo o distanciamento e posicionamento dos tirantes conforme projeto. Depois da execução do conjunto de tirantes daquela sapata, é concretada uma base em concreto magro para então a montagem das formas, armadura de fretagem dos tirantes e a armadura das sapatas, seguindo para a etapa da concretagem das sapatas. Quando o tempo de cura da concretagem é alcançado, ocorre a liberação da cravação dos tirantes nas faces superiores das sapatas.

Após a conclusão de todas as sapatas de cada trecho da laje de subpressão, executaram-se as formas e as armaduras das lajes, onde as cabeças externas dos tirantes serão concretadas dentro da laje, conforme detalhamento típico abaixo.

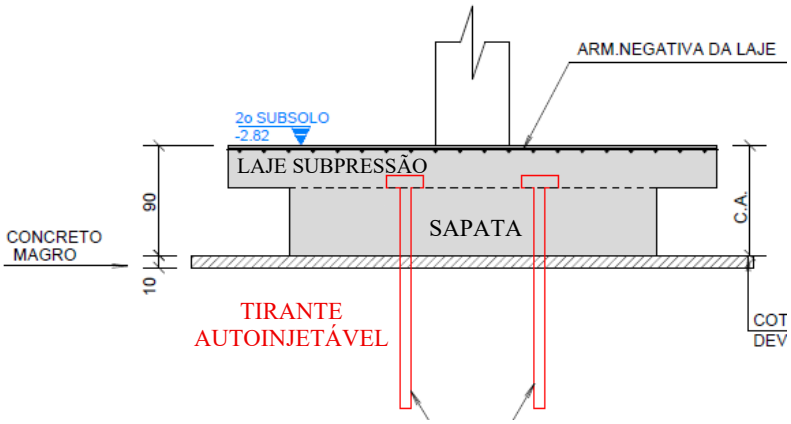


Figura 6. Detalhamento de projeto. Fonte: Adaptado do Projetista.



Figura 7. Posicionamento para perfuração dos tirantes verticais. Fonte: Autor.





Figura 8 e 9. Tirantes verticais perfurados. Fonte: Autor.



Figura 10. Execução da armadura das sapatas com conjunto de cinco tirantes verticais. Fonte: Autor.

3.3. Protensão dos tirantes autoinjetáveis

A protensão é permitida após o tempo de cura da calda de injeção e as cargas a serem aplicadas devem ser de acordo com os critérios da NBR 5629:2018 – Execução de Tirantes Ancorados no Terreno. Para os tirantes inclinados da contenção é feita a instalação de uma placa de aço com abertura central para a passagem da barra do tirante, seguida da montagem do anel de grau e da porca de cravação. Em seguida, é acoplada uma extensão de 1,0 m à barra por meio de uma luva de emenda, possibilitando a instalação do conjunto de protensão. É instalada uma mesa que possibilitará o alongamento e retorno da barra durante a aplicação das cargas de protensão impostas pelo conjunto de macaco e bomba hidráulica, as quais são confirmadas por meio de um manômetro devidamente calibrado.

Os valores de deslocamentos são anotados de acordo com as fases de aplicação de carga estabelecidas no ensaio. Após a protensão ser realizada e apresentar um resultado aprovado dentro dos parâmetros de norma, é feita a cravação dos tirantes em suas cargas de incorporação estabelecidas em projeto.





Figura 11 e 12. Elementos de protensão e sistema instalado no tirante. Fonte: Autor.



Figura 13. Instalação da mesa e macaco de protensão. Fonte: Autor.

No caso dos tirantes verticais (Laje de Subpressão), a metodologia de protensão é similar, porém sem a utilização do anel de grau.



Figura 14. Posicionamento peças para cravação – tirante vertical. Fonte: Autor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das condições geotécnicas da obra, caracterizadas pela predominância de solos arenosos e pela presença de nível freático elevado, foi necessária a adoção de soluções capazes de assegurar o desempenho dos elementos de contenção e o controle das pressões hidrostáticas atuantes na estrutura. Nesse contexto, os tirantes autoinjetáveis mostraram-se uma alternativa eficiente tanto sob o aspecto executivo quanto estrutural, uma vez que integram as etapas de perfuração e injeção, reduzindo o tempo de execução e minimizando interferências no maciço de solo e em estruturas vizinhas. Além disso, o método apresentou bom desempenho em solos arenosos saturados, contribuindo para o controle das pressões de água durante a execução, aumentando a segurança das escavações e favorecendo a estabilidade do terreno durante a instalação dos tirantes.

A investigação geotécnica prévia foi fundamental para a caracterização do terreno e para o adequado dimensionamento das soluções adotadas, constituindo etapa fundamental para a definição das soluções de projeto. Dessa forma, a escolha criteriosa dos sistemas de contenção e ancoragem, associada a um planejamento executivo compatível com as condições locais, mostrou-se determinante para assegurar a viabilidade técnica, a segurança e a durabilidade de empreendimentos com escavações profundas em ambientes geotécnicos complexos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA. **Manual de execução de fundações e geotecnia – Práticas recomendadas.** 2 ed. São Paulo, Pini, 2022.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5629 – **Tirantes ancorados no terreno — Projeto e execução.** Rio de Janeiro. 2018.

HACHICH, W.; FALCONI, F.; CORRÊA, C. N.; ORLANDO, C.; SCHIMDT, C.; ANTUNES, W. R.; ALBUQUERQUE, P. J.; NIYAMA, S. (eds.). **Fundações: teoria e prática.** 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. Cap 15, pág 595-608.

INCOTEP SISTEMAS DE ANCORAGEM, **Tirantes autoinjetáveis.** Disponível em: <https://incotep.com.br/tirantes-autoinjetaveis/tirante-autoinjetavel/ > Acessado em 02 mar. 2026.