

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/310

## Estudo de caso: execução de estacas escavadas com grande diâmetro e profundidade

Gustavo Carreiro Bento

Engenheiro Civil na Geofix Engenharia, São Paulo, Brasil, gustavo.bento@geofix.com.br

Marcio Abreu de Freitas

Engenheiro Civil na Geofix Engenharia, São Paulo, Brasil, marcio.freitas@geofix.com.br

Thayná Furuya

Engenheira Civil na Geofix Engenharia, São Paulo, Brasil, thayna.furuya@geofix.com.br

Denis Gonzaga Bayona

Engenheiro Sênior na Geofix Engenharia, São Paulo, Brasil, denis.bayona@geofix.com.br

**RESUMO:** O texto descreve uma construção residencial localizada acima do túnel do metrô, abordando a solução adotada para a fundação. Inicialmente, planejou-se a utilização de estacas hélice contínua para esta obra convencional. No entanto, devido à construção do túnel do metrô abaixo, a solução foi alterada para estacas escavadas com fluido estabilizante, capazes de suportar as cargas distribuídas por um bloco de fundação de 7800 m<sup>3</sup>. Essas estacas, com diâmetros variando de Ø100 cm a Ø200 cm e profundidades entre 10,5 m e 57,5 m, ocupam significativa parte da projeção da obra. O artigo mostra o processo executivo da concretagem submersa da estaca E-736, enfrentando desafios, dificuldades desde a chegada dos caminhões betoneiras na obra, até o rearmazenamento de lama bentonítica nos silos e propondo soluções para situações. Dada a execução futura da obra do metrô, destaca-se a importância da precisão nas locações e cuidados na execução, para evitar excentricidades, especialmente nas estacas próximas ao túnel, projetadas com grande profundidade. Com a opção da estaca escavada definida pelo aumento de carga e por não existirem máquinas de hélice contínua que executam com o diâmetro e profundidade máxima exigida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estacas escavadas com fluido estabilizante, concretagem, execução, desafios, soluções.

**ABSTRACT:** The text describes a residential construction located above the metro tunnel, addressing the adopted solution for its foundation. Initially, continuous flight auger piles were planned for this conventional project. However, due to the metro tunnel construction below, the solution was changed to bored piles with stabilizing fluid, capable of supporting loads distributed across a 7800 m<sup>3</sup> foundation block. These piles, ranging in diameter from Ø100cm to Ø200cm and depths between 10.5m and 57.5m, occupy a significant portion of the project's footprint. The article details the execution process of submerged concreting for pile E-736, facing challenges from the arrival of concrete mixer trucks on site to the re-storage of bentonite slurry in silos, proposing solutions for these scenarios. Given the upcoming metro construction, the text emphasizes the importance of precise surveying and careful execution to prevent eccentricities, especially in piles near the tunnel, designed with considerable depth. The choice of bored piles was driven by increased load requirements and the absence of continuous flight auger machines capable of operating at the required diameter and maximum depth.

**KEYWORDS:** Bored piles with stabilizing fluid, concreting, execution, challenges, solutions.

### 1 INTRODUÇÃO

Na construção civil, onde cada projeto tem suas particularidades, um exemplo disso, é um projeto localizado na região da Pompeia, São Paulo, que ao término será um edifício residencial de 28 andares.

Originalmente planejado em função de sondagens de até 30 m de profundidade. Contudo, ao serem informados que um túnel de metrô, com o topo do túnel na cota 707,95 e a base na cota 697,39, futuramente irá passar sob a obra, foram utilizadas as sondagens que já haviam executadas pelo metrô com profundidade de aproximadamente 60 m (tabela 1) com sua cota do nível d'água variando da 726,50 a 728,50. Sendo assim, a fundação exigiu uma revisão total de seu planejamento inicial.

| <b>Sondagem: SP 07</b>              |                         | <b>Cota do terreno: 728,03</b>  |
|-------------------------------------|-------------------------|---|
| <b>Cota do nível d'água: 726,24</b> |                         | <b>Cota final: 667,73</b>   |
| <b>SPT médio</b>                    | <b>Profundidade (m)</b> | <b>Classificação das Camadas de Solo</b>  |
| 4                                   | 2,30                    | Aterro de argila com entulhos, marrom avermelhado, variegado  |
| 4                                   | 2,65                    | Aterro de argila, cinza escuro  |
| 7                                   | 4,15                    | Argila siltosa, arenosa, mole, cinza escuro   |
| 9                                   | 5,48                    | areia fina argilosa, siltosa, pco compacta a med. compacta, vermelha amarelada e amarela                              |
| 13                                  | 7,66                    | Argila siltosa, rija a mto rija, conza méd. e amarela   |
| 25                                  | 10,25                   | Argila siltosa, mto rija, cinza escura  |
| 26                                  | 11,56                   | Argila siltosa, mto rija, cinza média e amarela   |
| 18                                  | 13,52                   | Areia fina mto argilosa, siltosa, med. compacta a compacta, cinza clara esverdeada                                    |
| 39                                  | 14,48                   | Areia siltosa dura, cinza méd. esverdeada e amarela   |
| 40                                  | 14,55                   | Areia fina siltosa, com limonita, marrom avermelhada  |
| 41                                  | 16,57                   | Areia de granulação variada e siltosa, pco argilosa, mto compacta, cinza méd. esverdeada                              |
| 38                                  | 21,76                   | Argila siltosa, dura, cinza média esverdeada e marrom   |
| 32                                  | 23,18                   | Areia fina siltosa, pco argilosa, compacta, cinza méd. esverdeada   |
| 31                                  | 24,33                   | Areia fina mto siltosa, cinza clara esverdeada  |
| 34                                  | 25,59                   | Argila mto siltosa, arenosa, dura, cinza média esverdeada   |
| 34                                  | 30,51                   | Areia de granulação variada argilosa, siltosa, com pedregulhos finos, compacta, a mto compacta, cinza méd. esverdeada |
| 23                                  | 31,48                   | Argila arenosa, siltosa, mto rija, cinza méd. esverdeada  |
| 44                                  | 55,00                   | Argila siltosa, mto rija a dura, variegada, preta, cinza escura e marrom, cinza méd. e marrom, verde e marrom         |
| 56                                  | 60,30                   | Argila siltosa, mto rija a dura, variegada, preta, cinza escura   |

Tabela 1. Características da sondagem “SP 07” realizada até 60,30 m.

No início projetado com estacas hélice contínua monitorada, com diâmetros variando entre  $\varnothing 40$  cm a  $\varnothing 100$  cm e profundidades de 8,5 m a 22,5 m, para sustentar cargas de 65 tf a 400 tf (figura 1), a estaca escavada com fluido estabilizante (figura 2) foi selecionada como a solução principal, por ainda não existirem máquinas de hélice contínua que perfuram com o diâmetro e a profundidade máxima exigida neste projeto devido a passagem do túnel do metrô e por demais fatores. Com diâmetros variando de  $\varnothing 100$  cm a  $\varnothing 200$  cm e profundidades de 18,5 a 57,5 m, a fundação em estaca escavada, foi escolhida para sustentar cargas de 200 tf a 2200 tf, distribuídas por um bloco de fundação que utilizou 7800 m<sup>3</sup> de concreto.

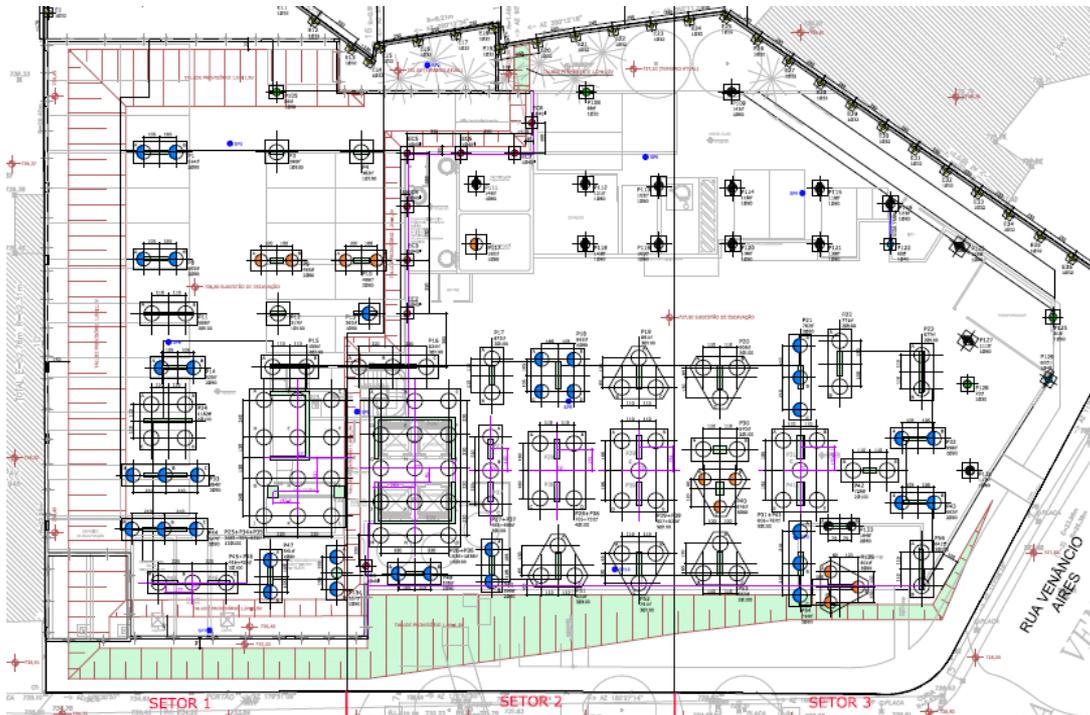


Figura 1. Projeto de estaca hélice contínua monitorada



Figura 2. Projeto de estacas escavadas com fluido estabilizante

Este artigo explora o processo executado de estacas escavadas com fluido estabilizante em obra específica, destacando uma concretagem submersa da estaca E-736 (figura 3).

Com Ø 200 cm e 57,50 m de profundidade, os desafios enfrentados a medida que as betoneiras chegam, o concreto é lançado no furo escavado, a lama bentonítica retorna aos silos, o tempo limitado de vencimento de concreto, o corte do tubo tremonha, etc. Com o início da obra, a solução em estaca escavada, foi marcada por diversos desafios executivos e cada passo e decisão tomada desempenhou um papel vital.

| Nº: <b>E-736</b>   |        | Ø <b>2,00</b>       |                      | PD ( ) EE ( X ) EB ( ) |         |                       |                |                |                 |               |        |       |                              |        |      |  |  |  |  |  |  |
|--|--------|---------------------|----------------------|------------------------|---------|-----------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|--------|-------|------------------------------|--------|------|--|--|--|--|--|--|
| COMPRIMENTO DO TUBO (2)                                      | Seg.   | SONDA REAL (m)      | SONDA TEÓRICA (m)    | SUBIDA DO CONCRETO (m) |         | CONCRETO LANÇADO (m³) | CAMINHÃO Nº    |                | SLUMP           | CRONOMETRAGEM |        |       |                              |        |      |  |  |  |  |  |  |
|  |        |                     |                      | REAL                   | TEÓRICO |                       | DO TUBO 1      | DO TUBO 2      |                 | INICIO        | FIM    | TEMPO | ACUMULO                      | ESPERA |      |  |  |  |  |  |  |
| ↖ 57,00  |        | 57,50               |                      |                        |         |                       |                |                |                 |               |        |       |                              |        |      |  |  |  |  |  |  |
| 1,00   |        | 56,00               | 55,20                | 55,02                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 1927           | 1ª BT           |               | 14:24  | 14:28 | 0:04                         | 0:04   | 0:00 |  |  |  |  |  |  |
| 2,00   |        | 54,00               | 52,90                | 52,54                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 1899           | 2ª BT           |               | 14:30  | 14:35 | 0:05                         | 0:09   | 0:02 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   |        | 51,00               | 50,60                | 50,06                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 1902           | 3ª BT           |               | 14:37  | 14:40 | 0:03                         | 0:12   | 0:02 |  |  |  |  |  |  |
| 2,00   | ↘ 5,30 | 49,00               | 48,30                | 47,58                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 1730           | 4ª BT           |               | 14:41  | 14:45 | 0:04                         | 0:16   | 0:01 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   |        | 46,00               | 46,00                | 45,10                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 1904           | 5ª BT           |               | 14:46  | 14:50 | 0:04                         | 0:20   | 0:01 |  |  |  |  |  |  |
| 2,00   |        | 44,00               | 43,70                | 42,62                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 1771           | 6ª BT           |               | 14:51  | 14:55 | 0:04                         | 0:24   | 0:01 |  |  |  |  |  |  |
| 2,00   | ↘ 5,40 | 42,00               | 41,40                | 40,14                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 1901           | 7ª BT           |               | 14:56  | 14:59 | 0:03                         | 0:27   | 0:01 |  |  |  |  |  |  |
| 2,00   |        | 40,00               | 39,00                | 37,66                  | 2,40    | 2,48                  | 8,00           | 2227           | 8ª BT           |               | 15:00  | 15:05 | 0:05                         | 0:32   | 0:01 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   |        | 37,00               | 36,60                | 35,13                  | 2,40    | 2,53                  | 8,00           | 2036           | 9ª BT           |               | 15:13  | 15:24 | 0:11                         | 0:43   | 0:08 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   | ↘ 4,40 | 34,00               | 34,20                | 32,70                  | 2,40    | 2,43                  | 8,00           | 1666           | 10ª BT          |               | 15:25  | 15:28 | 0:03                         | 0:46   | 0:01 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   |        | 31,00               | 31,90                | 30,22                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 444            | 11ª BT          |               | 15:30  | 15:33 | 0:03                         | 0:49   | 0:02 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   |        | 28,00               | 29,60                | 27,74                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 1905           | 12ª BT          |               | 15:34  | 15:39 | 0:05                         | 0:54   | 0:01 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   | ↘ 4,60 | 25,00               | 27,30                | 25,26                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 536            | 13ª BT          |               | 15:40  | 15:45 | 0:05                         | 0:59   | 0:01 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   |        | 22,00               | 25,00                | 22,78                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 537            | 14ª BT          |               | 15:48  | 15:54 | 0:06                         | 1:05   | 0:03 |  |  |  |  |  |  |
| 2,00   |        | 20,00               | 22,70                | 20,30                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 2031           | 15ª BT          |               | 15:55  | 16:10 | 0:15                         | 1:20   | 0:01 |  |  |  |  |  |  |
| 2,00   |        | 18,00               | 20,40                | 17,82                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 2034           | 16ª BT          |               | 16:19  | 16:23 | 0:04                         | 1:24   | 0:09 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   | ↘ 3,80 | 15,00               | 18,10                | 15,34                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 1771           | 17ª BT          |               | 16:25  | 16:30 | 0:05                         | 1:29   | 0:02 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   |        | 12,00               | 15,80                | 12,86                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 1700           | 18ª BT          |               | 16:43  | 16:50 | 0:07                         | 1:36   | 0:13 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   |        | 9,00                | 13,50                | 10,38                  | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 1699           | 19ª BT          |               | 17:00  | 17:05 | 0:05                         | 1:41   | 0:10 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   |        | 6,00                | 11,20                | 7,90                   | 2,30    | 2,48                  | 8,00           | 1739           | 20ª BT          |               | 17:06  | 17:10 | 0:04                         | 1:45   | 0:01 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   |        | 3,00                | 8,00                 | 5,42                   | 3,20    | 2,48                  | 8,00           | 9036           | 21ª BT          |               | 17:11  | 17:15 | 0:04                         | 1:49   | 0:01 |  |  |  |  |  |  |
| 3,00   |        | 0,00                | 7,40                 | 2,94                   | 0,60    | 2,48                  | 8,00           | 1905           | 22ª BT          |               | 17:16  | 17:19 | 0:03                         | 1:52   | 0:01 |  |  |  |  |  |  |
|  |        |                     | 5,90                 | 0,46                   | 1,50    | 2,48                  | 8,00           | 1565           | 23ª BT          |               | 17:22  | 17:30 | 0:08                         | 2:00   | 0:03 |  |  |  |  |  |  |
|  |        |                     | 3,90                 | -2,02                  | 2,00    | 2,48                  | 8,00           | 1911           | 24ª BT          |               | 18:30  | 18:40 | 0:10                         | 2:10   | 1:00 |  |  |  |  |  |  |
|  |        |                     | 2,87                 | -4,50                  | 1,03    | 2,48                  | 8,00           | 1719           | 25ª BT          |               | 18:43  | 19:50 | 1:07                         | 3:17   | 0:03 |  |  |  |  |  |  |
| Obs: Cotas fornecidas, aferidas e acompanhadas pelo cliente. |        |                     |                      |                        |         |                       |                |                |                 |               |        |       |                              |        |      |  |  |  |  |  |  |
| Área em planta/m²:   |        | 3,14                |                      | Subida do concreto /   |         | 0,32                  |                | Ensaio de Lama |                 | Antes         | Depois |       | Aferição da Balança com Água |        |      |  |  |  |  |  |  |
| Inicial  |        | m²                  |                      | Volume                 | Teórico | 171,53                | m³             | Perda %        | Viscosidade     |               | 39     | Seg   | ( x )   ( )                  |        |      |  |  |  |  |  |  |
| Sequente   |        | m²                  |                      |                        | Real    | 200,00                |                |                | Peso Específico |               | 1,08   | g/cm³ |                              |        |      |  |  |  |  |  |  |
| Fechamento   |        | m²                  |                      |                        | Pedido  | 200,00                | m³             |                | Teor de Areia   |               | 1,5    | %     |                              |        |      |  |  |  |  |  |  |
| e(m):  | 2,00   | c(m):               |                      |                        | Sobra   | 0,00                  | m³             |                | pH              |               | 8      |       |                              |        |      |  |  |  |  |  |  |
| Cota do terreno:   | 727,50 | m                   | Espessura do Painel: |                        | 2,00    | m                     | NÃO CONCRETADO | 2,87           | ALÇA.           |               | 4,76   |       |                              |        |      |  |  |  |  |  |  |
| Cota de ponta:   | 670,00 | m                   | Altura Escavada:     |                        | 57,50   | m                     | C.T.M          | 727,39         |                 |               |        |       |                              |        |      |  |  |  |  |  |  |
| Cota de arrasam:   | 722,63 | m                   | Altura Concretada:   |                        | 54,63   | m                     |                |                |                 |               |        |       |                              |        |      |  |  |  |  |  |  |
| Observações  |        | COTA DO C. ACABADO: |                      |                        |         | 724,63                |                |                |                 |               |        |       |                              |        |      |  |  |  |  |  |  |

Figura 3. Boletim de concretagem

## 2 Concretagem

### 2.1 Concretagem Submersa

Este tipo de concretagem é aplicada tanto em obras totalmente em solo, para fundações profundas, quanto em projetos embarcados (*off-Shore*), como no caso da obra em questão que sua cota do nível d'água varia da 726,50 a 728,50.

O método é realizado através de um tubo chamado tremonha. Esse tubo conduz o concreto autoadensável até a parte inferior da estaca, por gravidade, sendo gradualmente preenchida de baixo para cima até atingir a cota de apoio dos equipamentos ou uma cota superior à de arrasamento (com altura mínima de corte), sendo assim, é realizado um corte com determinada metragem, onde o tubo tremonha ainda fique submerso no concreto com um mínimo de 1,5 m, conforme (figura 4).

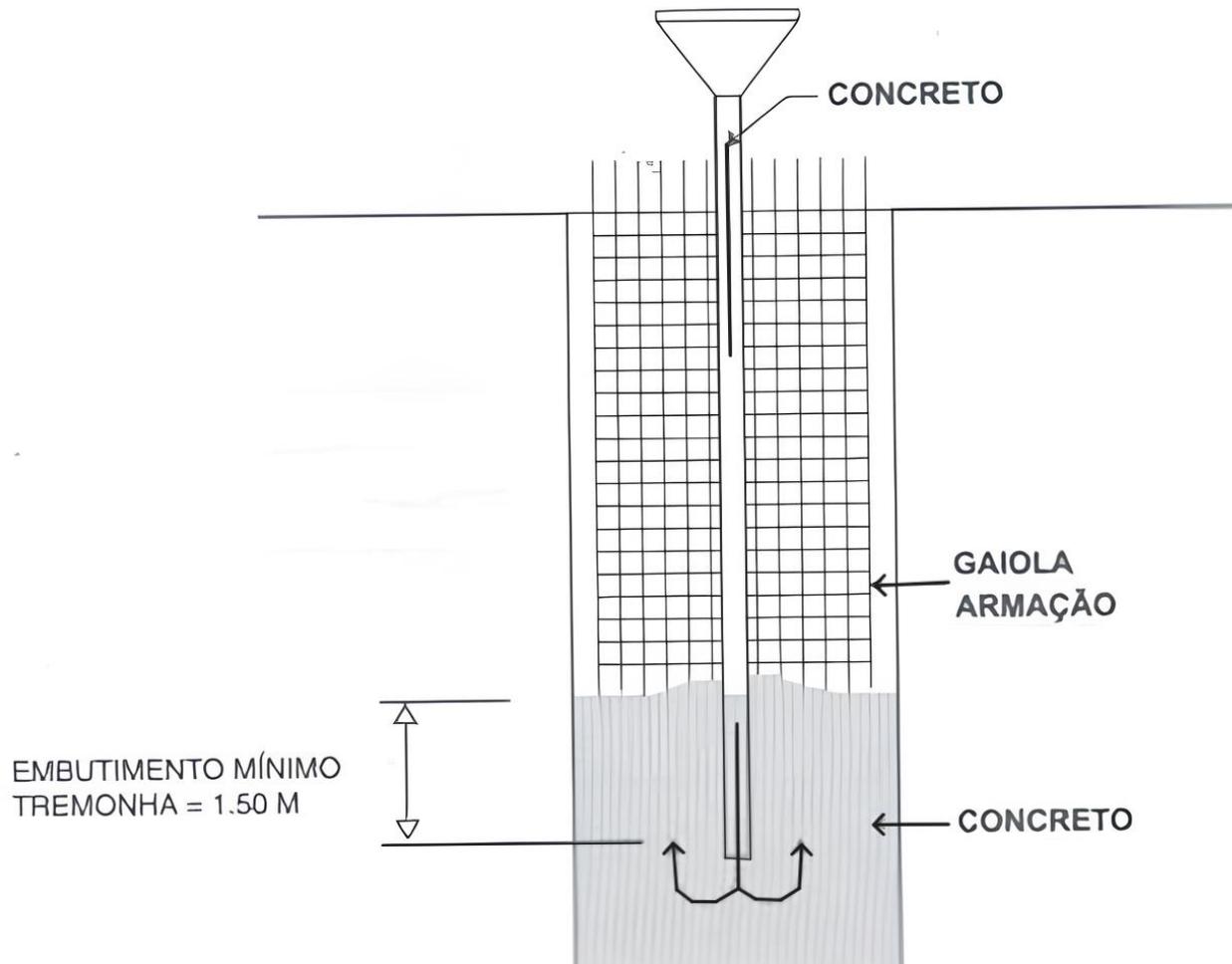


Figura 4. Ilustração de concretagem submersa.

Para evitar que o solo desbarranque, deve-se utilizar a lama betonítica ou polímero, a qual preenche o espaço, mas ainda assim permite a entrada do concreto devido à diferença de densidade. O concreto lançado no início do processo, que entra em contato com a lama betonítica, deve ser descartado por meio do transbordamento até que se observe que o concreto que está transbordando não tem presença de lama ou solo.

## 2.2 Processo de Chegada das Betoneiras

A execução de uma das maiores estacas dessa obra exigiu um volume considerável de concreto (200 m<sup>3</sup>), lançados através de 25 caminhões betoneiras com 8 m<sup>3</sup> cada conforme (tabela 2). É crucial ressaltar o planejamento assegurando a pontualidade, coordenados pela equipe em obra e as diferentes usinas, garantindo um suprimento contínuo de concreto.

| CONCRETO<br>LANÇADO<br>(m³) | CAMINHÃO Nº  |              | CRONOMETRAGEM |       |       |        |        |
|-----------------------------|--------------|--------------|---------------|-------|-------|--------|--------|
|                             | DO<br>TUBO 1 | DO<br>TUBO 2 | INICIO        | FIM   | TEMPO | ACUMUL | ESPERA |
| 8,00                        | 1927         | 1º BT        | 14:24         | 14:28 | 0:04  | 0:04   | 0:00   |
| 8,00                        | 1899         | 2º BT        | 14:30         | 14:35 | 0:05  | 0:09   | 0:02   |
| 8,00                        | 1902         | 3º BT        | 14:37         | 14:40 | 0:03  | 0:12   | 0:02   |
| 8,00                        | 1730         | 4º BT        | 14:41         | 14:45 | 0:04  | 0:16   | 0:01   |
| 8,00                        | 1904         | 5º BT        | 14:46         | 14:50 | 0:04  | 0:20   | 0:01   |
| 8,00                        | 1771         | 6º BT        | 14:51         | 14:55 | 0:04  | 0:24   | 0:01   |
| 8,00                        | 1901         | 7º BT        | 14:56         | 14:59 | 0:03  | 0:27   | 0:01   |
| 8,00                        | 2227         | 8º BT        | 15:00         | 15:05 | 0:05  | 0:32   | 0:01   |
| 8,00                        | 2036         | 9º BT        | 15:13         | 15:24 | 0:11  | 0:43   | 0:08   |
| 8,00                        | 1666         | 10º BT       | 15:25         | 15:28 | 0:03  | 0:46   | 0:01   |
| 8,00                        | 444          | 11º BT       | 15:30         | 15:33 | 0:03  | 0:49   | 0:02   |
| 8,00                        | 1905         | 12º BT       | 15:34         | 15:39 | 0:05  | 0:54   | 0:01   |
| 8,00                        | 536          | 13º BT       | 15:40         | 15:45 | 0:05  | 0:59   | 0:01   |
| 8,00                        | 537          | 14º BT       | 15:48         | 15:54 | 0:06  | 1:05   | 0:03   |
| 8,00                        | 2031         | 15º BT       | 15:55         | 16:10 | 0:15  | 1:20   | 0:01   |
| 8,00                        | 2034         | 16º BT       | 16:19         | 16:23 | 0:04  | 1:24   | 0:09   |
| 8,00                        | 1771         | 17º BT       | 16:25         | 16:30 | 0:05  | 1:29   | 0:02   |
| 8,00                        | 1700         | 18º BT       | 16:43         | 16:50 | 0:07  | 1:36   | 0:13   |
| 8,00                        | 1699         | 19º BT       | 17:00         | 17:05 | 0:05  | 1:41   | 0:10   |
| 8,00                        | 1739         | 20º BT       | 17:06         | 17:10 | 0:04  | 1:45   | 0:01   |
| 8,00                        | 9036         | 21º BT       | 17:11         | 17:15 | 0:04  | 1:49   | 0:01   |
| 8,00                        | 1905         | 22º BT       | 17:16         | 17:19 | 0:03  | 1:52   | 0:01   |
| 8,00                        | 1565         | 23º BT       | 17:22         | 17:30 | 0:08  | 2:00   | 0:03   |
| 8,00                        | 1911         | 24º BT       | 18:30         | 18:40 | 0:10  | 2:10   | 1:00   |
| 8,00                        | 1719         | 25º BT       | 18:43         | 19:50 | 1:07  | 3:17   | 0:03   |

Tabela 2. Parte da quantidade de betoneiras e tempo do boletim de concretagem

Conforme a tabela 2, na coluna “TEMPO”, tem em média 7 minutos para descarregar os 8 m³ de concreto no funil do tubo tremonha, e na coluna “ESPERA”, um intervalo médio de 5 minutos de espera entre os caminhões betoneiras. Observamos como esse tempo é estrategicamente distribuído para evitar congestionamentos ao entorno da obra, garantindo a segurança operacional, mantendo um ambiente de trabalho contínuo e como esse período impacta diretamente o andamento da obra, considerando a necessidade de manter um ritmo constante.

Como curiosidade da obra, a estratégia de lançar o concreto de dois caminhões betoneiras simultaneamente, um descarregando no funil do tubo tremonha e outro através da bomba de concretagem, demonstrou eficiência na operação conforme (figura 5). A diferença de tempo na concretagem entre a maior e a menor estaca pode ser influenciada por vários fatores, incluindo volume de concreto, acesso ao local, disponibilidade de equipamentos e complexidade da instalação da estaca.

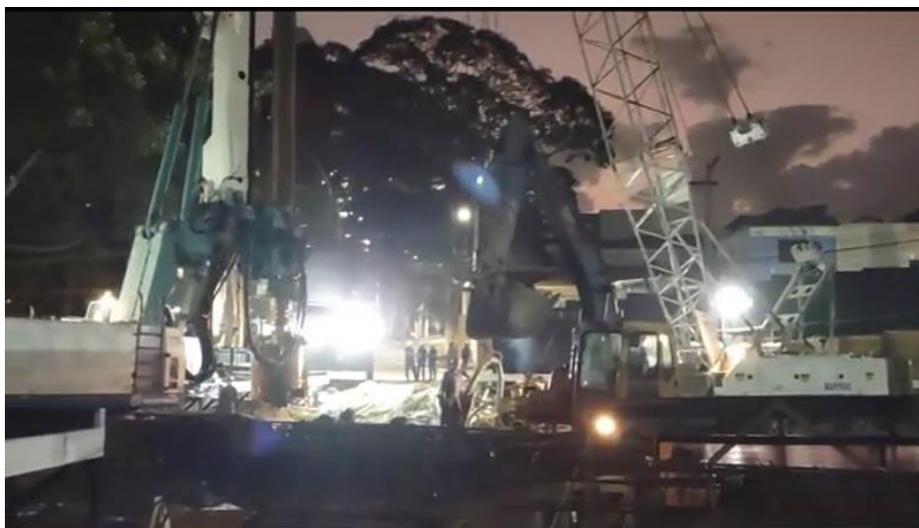


Figura 5. Imagem da obra no período noturno durante uma concretagem.

### 2.3 Subida do concreto e retorno da lama bentonítica aos silos

A medida que o concreto autoadensável vem subindo do fundo da estaca até o topo, tem um determinado momento que o peso do concreto fora do tubo tremonha, interno à perfuração, supera o peso do concreto que está dentro do tubo conforme (figura 6), não permitindo a continuidade da concretagem.

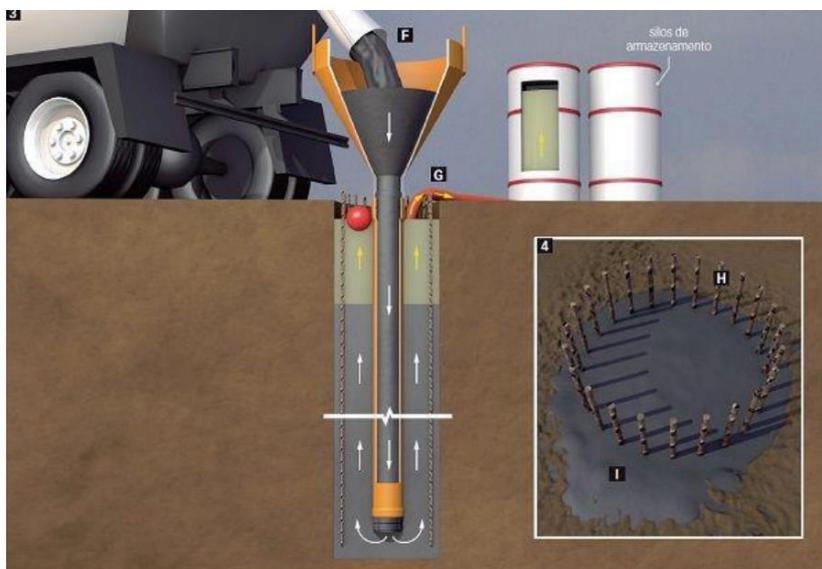


Figura 6. Ilustração do concreto equilibrado na estaca e no interior do tubo tremonha

Sendo assim, como mencionado anteriormente, se realiza cortes ao longo do tubo tremonha em alturas diferentes, que varia dependendo das características do concreto e altura de lançamento, mantendo o tubo tremonha submerso no concreto com um mínimo de 1,5 m, evitando a mistura entre a lama bentonítica e o concreto que indevidamente misturados causarão “bixeiras” no trecho em questão, contaminando o concreto e condenando a estaca.

Conforme exemplo da figura 7, cada seta representa um corte no tubo tremonha, ou seja, foi realizado 5 cortes, sendo a ponta do lado esquerdo a metragem acumulada que foi cortada conforme ilustração da figura 8, na ponta direita a metragem que o concreto subiu a partir do início da concretagem que é medida com uma sonda ao término do descarregamento de cada betoneira e o valor acima da linha das setas é a metragem que o tubo ficou submerso no concreto.

| COMPRIMENTO DO TUBO (2) | Seg. | SONDA REAL (m) | SONDA TEÓRICA (m) |
|-------------------------|------|----------------|-------------------|
| 57,00                   |      | 57,50          |                   |
| 1,00                    |      | 55,20          | 55,02             |
| 2,00                    |      | 52,90          | 52,54             |
| 3,00                    |      | 50,60          | 50,06             |
| 2,00                    | 5,30 | 48,30          | 47,58             |
| 3,00                    |      | 46,00          | 45,10             |
| 2,00                    |      | 43,70          | 42,62             |
| 2,00                    | 5,40 | 41,40          | 40,14             |
| 2,00                    |      | 39,00          | 37,66             |
| 3,00                    |      | 36,60          | 35,13             |
| 3,00                    | 4,40 | 34,20          | 32,70             |
| 3,00                    |      | 31,90          | 30,22             |
| 3,00                    |      | 29,60          | 27,74             |
| 3,00                    | 4,60 | 27,30          | 25,26             |
| 3,00                    |      | 25,00          | 22,78             |
| 2,00                    |      | 22,70          | 20,30             |
| 2,00                    |      | 20,40          | 17,82             |
| 3,00                    | 3,80 | 18,10          | 15,34             |
| 3,00                    |      | 15,80          | 12,86             |
| 3,00                    |      | 13,50          | 10,38             |
| 3,00                    |      | 11,20          | 7,90              |
| 3,00                    |      | 8,00           | 5,42              |
| 3,00                    |      | 7,40           | 2,94              |
|                         |      | 5,90           | 0,46              |
|                         |      | 3,90           | -2,02             |
|                         |      | 2,87           | -4,50             |

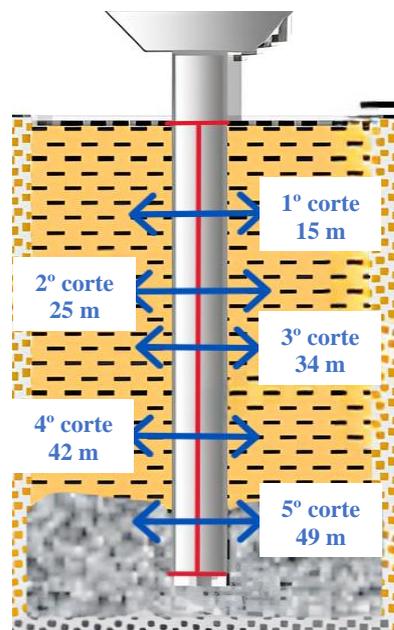


Figura 7. Demonstração do boletim de concretagem, corte do tubo e metragem de segurança.

Figura 8. Ilustração e metragem acumulada do corte no tubo tremonha.

Em paralelo a tudo isso, também temos que re-armazenar a lama bentonítica, com auxílio de bombas e mangotes, nos silos que tem capacidade para 25 m<sup>3</sup>. O fluido armazenado é reutilizado em outra perfuração de estaca, após a realização dos ensaios de viscosidade, peso específico, teor de areia e índice de pH seguindo a norma ABNT NBR 6122/2022, até que, de acordo com os resultados, seja necessário o descarte.

### 3 Conclusão

Devido a condições de equipamentos, nível d'água, logística de obra e demais fatores, optou-se pela estaca escavada com fluido estabilizante, com diferentes tamanhos e profundidades que suporta cargas de até 2200 tf (5,5 vezes a mais do que previsto em hélice contínua), distribuídas por um bloco de fundação que utilizou 7800 m<sup>3</sup> em sua concretagem, também está funcionando para sustentar o prédio até hoje, mas também mostrou que conseguimos lidar com os imprevistos como a mudança de projeto, o grande volume de caminhões e concreto para uma concretagem.

O foco na explicação detalhada da concretagem submersa da estaca E-736, dá uma visão completa dos desafios, desde a chegada das betoneiras até o concreto atingir o nível do terreno ou a cota de arrasamento das estacas, proporcionando uma visão completa do processo.

Ao analisar a execução da estaca E-736, de maior diâmetro, profundidade e volume, com 200 m<sup>3</sup> de concreto e a coordenação logística de 25 caminhões betoneiras, enfatizamos a importância do planejamento preciso para garantir prazo e segurança. A estratégia de usar dois caminhões betoneiras ao mesmo tempo em outras estacas mostra eficiência operacional, destacando a complexidade da concretagem em diferentes situações.

Relatar sobre a subida do concreto e o armazenamento da lama bentonítica, destacando a importância de cortes no tubo tremonha e respeitando que ele fique no mínimo 1,5 m submerso no concreto para evitar contaminação do concreto, mostra a visão detalhada do processo executivo. A gestão do fluido estabilizante, com rearmazenamento e reutilização até que seja necessário o descarte, destaca o compromisso com práticas sustentáveis na construção civil.

Em resumo, a execução da última estaca finalizou no dia 24/11/2022, hoje o edifício ainda está em desenvolvimento e o túnel do metrô ainda não chegou nessa região do empreendimento. A prova de carga realizada teve resultado satisfatório mesmo com a utilização do concreto autoadensável e o prédio segue sendo monitorado até finalizarem a passagem do túnel do metrô sob a área dessa obra.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos a toda a equipe da Geofix e nossos familiares pelo apoio, ensinamentos e experiências que sempre agregam em nossas vidas pessoais e profissionais.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2022). NBR 6122. *Projeto e Execução de Fundações*. São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15823-3: *Concreto Autoadensável Parte 3: Determinação da habilidade passante – Método do anel J*. Rio de Janeiro, 2017

TAGLIANI, S. BDE *Explica: quais as diferenças do concreto submerso? Engenharia 360*. Disponível em: <<https://engenharia360.com/bde-explica-concretosubmerso/>>. Acesso em 9 Dez. 2020

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 6484:2020 – *Solo – Sondagens de simples reconhecimentos com SPT – Método de ensaio*

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. *Fundações por estacas: Projeto geotécnico*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.