



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS  
UNIPAC BARBACENA  
ENGENHARIA CIVIL**

**NICOLAS BEDESCHI DE ASSIS COELHO**

**SOLUÇÃO PARA RECALQUE EM SILO DE CIMENTO**

**BARBACENA/MG  
2022**

**NICOLAS BEDESCHI DE ASSIS COELHO**

**SOLUÇÃO PARA RECALQUE EM SILO DE CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos – FUPAC como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Tairine Cristine Bertola Cruz.

**BARBACENA/MG  
2022**

COELHO, Nicolas Bedeschi de Assis; **Solução para recalque em silo de cimento** Barbacena: ano. 2022 23 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Centro Universitário Presidente Antônio Carlos.

**Resumo:** Esta pesquisa tem por finalidade servir como base para a investigação do objeto de estudo. O silo analisado é constituído de uma estrutura mista de concreto armado e concreto protendido, sendo sua fundação assente em 22 estacas escavadas com diâmetro de projeto de 1600 mm e comprimento estimado de 17,62 m. Em meados do ano 2017, foi observado que uma estrutura metálica (passarela) que liga o silo de cimento ao silo vizinho estava apresentando deformação. A fim de identificar a causa desta deformação, diversos estudos foram realizados por empresas especializadas, equipes de topografia e equipes de manutenção local. Através disso, foi possível concluir que a deformação identificada na passarela que faz ligação entre os silos foi causada por recalque diferencial ocorrido na fundação do silo de cimento. Para estabelecer as condições normais de operação do silo, foi desenvolvida a solução técnica de reforço da fundação, a qual consiste em construir um novo bloco de coroamento, envolvendo o bloco de coroamento existente. Este novo bloco de coroamento será assentado sobre 215 estacas raízes, reforçadas com vergalhões em aço CA-50, tubo estrutural VMB 350 ancorados a uma profundidade de 5 m em rocha, entre outros procedimentos, visando melhora da estabilidade para execução das estacas. Visto que a usina teria que encerrar suas atividades em toda área para demolição do silo e a alimentação da ensacadeira ocorre através do silo 8, seria outra área afetada com essa parada, portanto, tal obra é mais vantajosa tanto economicamente quanto em questão de tempo de execução

**Palavras-chave:** Estacas. Recalque. Reforço.

**Abstract:** This research served a basis for the construction of the object of study. The analyzed silo consists of a mixed structure of reinforced concrete and prestressed concrete, with its foundation based on 22 excavated piles with a design diameter of 1600 mm and an estimated length of 17.62 m. In mid-2017, it was observed that a metallic structure (walkway) that connects the cement silo to the neighboring silo was showing deformation. In order to identify the cause of this deformation, several studies were carried out by specialized companies, surveying teams and local maintenance teams. Through this, it was possible to conclude that the deformation identified in the walkway that connects the silos was caused by differential settlement occurred in the foundation of cement silo 8. To establish the normal operating conditions of the silo, a technical solution was developed to reinforce the silo. silo foundation, which consists of building a new crowning block, involving the existing crowning block. This new crowning block will be placed on 215 root piles reinforced with CA-50 steel rebars, VMB 350 structural tube anchored at a depth of 5 m in rock, among other procedures, aiming at improving the stability for the execution of the piles, since for the demolition of the silo, the plant would have to stop its activities in the entire area and since the filling of the bagger takes place through silo 8, this would be another area foreseen with this stop, therefore, such work is more advantageous both economically and in terms of execution time.

**Keywords:** Piles. Repression. Reinforcement.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a construção civil é um dos ramos que mais movimentam a economia nacional. O setor vem crescendo cada vez mais e isso faz com que esteja em constante evolução, como vem ocorrendo nos últimos anos (FIEP, 2011).

Segundo Berberian (2015), a interação entre a estrutura e o solo define a forma como uma estrutura reage ao ser submetida a uma força externa, apresentando cargas em função das condições específicas do solo e do tipo de estrutura.

As fundações são consideradas parte fundamental da estrutura, suportando todas as cargas vindas da superestrutura, além do seu peso próprio. Logo, é preciso possuir uma grande quantidade de informações sobre o subsolo e suas características, assim como das cargas da estrutura, para que o projeto seja bem executado (BERBERIAN, 2015).

A estrutura analisada por esse trabalho é um silo de cimento constituído de uma estrutura mista de concreto armado e concreto protendido, sendo sua fundação assente em 22 estacas escavadas com diâmetro de projeto de 1600 mm e comprimento estimado de 17,62 m. Sobre estas estacas foi construído um bloco em concreto armado e, sobre este, erguidas a parede do silo em concreto protendido, suas estruturas intermediárias e de topo (FIVES FCB, 2013).

O presente trabalho encontra-se alinhado sobre as bases da pesquisa de levantamento de campo, pois tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema e construir hipóteses, buscando torná-lo mais explícito. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica, juntamente à de campo, com o intuito de coletar dados para maior conhecimento do tema abordado. Esta pesquisa serviu como base para construção da investigação do objeto de estudo. Logo foi realizado um levantamento de forma qualitativa-quantitativa das informações obtidas durante as atividades desenvolvidas no local da obra, com o objetivo de apresentar a solução adotada para tal interferência.

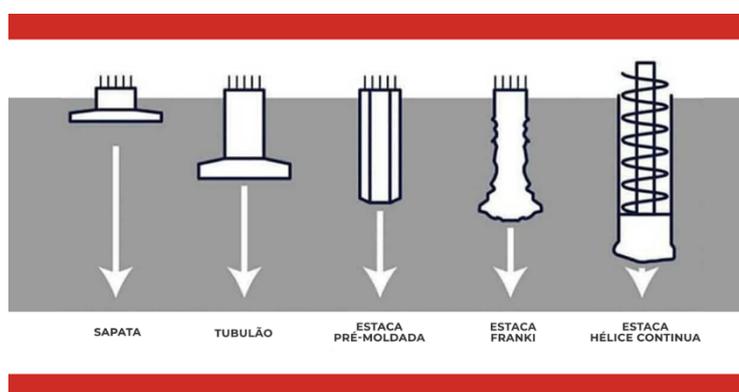
## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 O Recalque em fundações

De acordo com a NBR 6122, a fundação tem como objetivo transmitir as cargas de uma edificação para o terreno. Portanto, deve possuir resistência adequada para suportar todas as tensões atuantes, tanto a carga proveniente da superestrutura (lajes, vigas e pilares), quanto as reações vindas do solo. Além da resistência estrutural do elemento de fundação, também é necessário analisar geotecnica o solo onde será apoiada a estrutura, devendo este resistir aos esforços solicitantes para que não entre em colapso (ABNT, 2019).

De acordo com a NBR 6122, as fundações são divididas em duas tipologias conforme a FIG 1: superficial (direta), onde a transmissão dos esforços é passada ao terreno predominantemente pela base da fundação; e profunda (indireta) que transmite suas cargas em uma combinação de fatores, tanto no seu comprimento quanto na ponta, tendo que ter no mínimo 3 metros de profundidade (ABNT, 2019).

Figura 1 – Tipos de fundação rasa e profunda



Fonte: Ceramica Constrular (2020)<sup>1</sup>

A principal origem do desaprumo das edificações é o recalque diferencial dos elementos da fundação. Tal fenômeno pode afetar tanto visual quanto estruturalmente uma obra. Essa última, por consequência, acaba aumentando significativamente os esforços nos elementos de fundação, gerando o desgaste da

<sup>1</sup> Disponível em: <https://ceramicaconstrular.com.br/tipos-de-fundacao/>

área da fundação – que segue tracionada – e um acréscimo de recalque, o que pode tornar insegura toda a edificação (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015).

A olho nu, o desaprumo é o desalinhamento do edifício que causa desconforto visual e habitacional conforme FIG 2. Dentre os principais casos de desaprumo, devido a problemas na fundação, está a Torre de Pisa, na cidade de Pisa, região da Toscana, Itália (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015).

Figura 2 – Inclinação da Torre de Pisa



Fonte: Cimento Itambé (2018)<sup>2</sup>.

De acordo com REBELLO (2011), o recalque é caracterizado como a deformação sofrida pelo solo devido ao carregamento imposto. A deformação acarreta a movimentação da estrutura e, dependendo do caso, é possível que comprometa todo o edifício. Ela pode ocorrer de três formas: por escoamento lateral, o qual se movimenta em relação às curvas de nível; deformação por adensamento, que ocorre basicamente pela adição de uma carga no solo, fazendo o mesmo se movimentar; e devido à elástica do solo, onde o terreno não suporta a tensão final da fundação.

---

<sup>2</sup> Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/interacao-solo-estrutural-e-o-que-mantem-torre-de-pisa-em-pe/>

Recalque pode ser definido como o movimento no sentido para fora do eixo de gravidade de um elemento estrutural (ABNT, 2019). Para Alonso (1991, 14p.), “recalque absoluto é definido pelo deslocamento vertical de um elemento de fundação. A diferença entre os recalques absolutos de dois quaisquer elementos da fundação é o recalque diferencial”. Conforme a NBR 6122, sobre Projeto e execução de fundações, o recalque só ocorre quando houver movimento vertical descendente de uma estrutura (ABNT, 2019).

O recalque pode ser classificado em três tipos: danos visuais ou estéticos, com ausência riscos de qualquer natureza; danos que comprometam o uso e a funcionalidade da construção; e danos estruturais, que danificam a estrutura propriamente dita, sendo considerado crítico para quem está em atividade no local, conforme a FIG 3 (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005).

Figura 3 – Recalque em estruturas



Fonte: Neo Ipsum (2020).

## 2.2 Reforço de fundações

Os motivos de patologias em fundações são: projetos não adequados, números insuficientes de sondagens, procedimentos fraudulentos, falta de manutenção, influência da vegetação, entre outros (PEREIRA; NEVES; FAGUNDES, 2020).

O reforço é aplicado quando alguma manifestação acontece, desde danos arquitetônicos que comprometam a estrutura esteticamente; funcionalmente, que

retiram certa funcionalidade da edificação; e estruturais onde há danificação em elementos de transmissão de cargas. Para corrigir essas avarias existem algumas possíveis soluções (GOTLIEB, 2019).

Segundo REBELLO (2011), para a melhoria das características do solo, a injeção de produtos químicos ou cimento visa preencher quaisquer trincas e vazios, de forma que o produto expulse a água, evitando seu deslocamento. Para isso, o solo deve ser bastante permeável, permitindo que o produto se espalhe em seu interior, logo, a injeção química é mais comum em solos arenosos.

Ao se comparar a técnica de *Jet Grouting* com outras técnicas de melhoramento de solo, nota-se que esta possui uma maior flexibilidade de aplicabilidade, sendo utilizada com sucesso em vários tipos de solos com alta ou baixa permeabilidade, desde argilosos a arenosos (GIMÉNEZ, 2004). Por isso, ela pode ser aplicada em qualquer direção e nos estratos do solo estritamente necessários, além de ser utilizada com sucesso no reforço de fundações de estruturas, com várias aplicações existentes em estruturas rodoviárias, ferroviárias, túneis e reforço de fundações (FALCÃO, 2000).

A escolha de blocos de estacas para execução de tal reforço se deve ao fato de que quando as estacas são próximas entre si, o terreno ao seu redor também recebe uma parcela das cargas impostas sobre tal fundação. Assim, quanto maior a variação das distâncias entre os blocos de estacas, o próprio bloco de coroamento atua como fundação superficial (BERBERIAN, 2015).

Para HANAI (2005), a aplicação de uma tensão de compressão nas extremidades de uma peça de concreto se chama protensão. O processo é realizado com o objetivo de otimizar diversos pontos das estruturas em concreto armado, como por exemplo, os relacionados à fissuração, geometria da estrutura ou espaçamento entre apoios, proporcionando um melhor aproveitamento de aços com alta resistência no estado-limite último (ELU).

Assim, têm-se dois métodos principais de se realizar a protensão: a peça pré-tensionada, onde o aço de protensão recebe uma certa tração para depois a peça ser de fato concretada, sendo que, após a cura são retiradas as forças atuantes no aço de protensão onde sua tendência de retorno à forma inicial faz com que a peça receba uma força de compressão; e a peça pós-tensionada, na qual se passa uma cordoalha, concretando-se a peça para depois dar passagem dos cabos junto à

aplicação de tração, logo depois a cordoalha é preenchida com calda de cimento, criando um lado ativo e um passivo (HANAI, 2005).

### 3. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

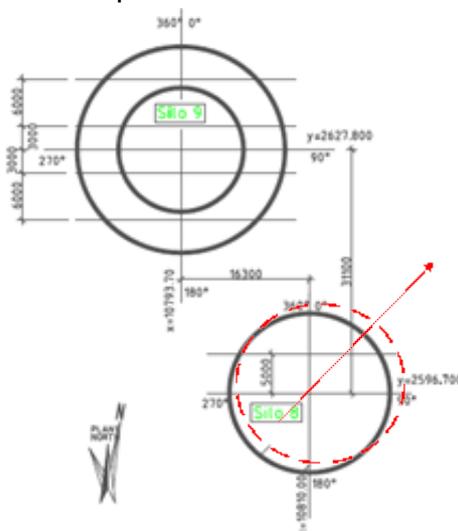
#### 3.1 A problemática

O silo possui altura total de 62,5m e tem capacidade para armazenamento de 10.000t de cimento, possuindo 22 estacas de 1,6m de diâmetro (FIVES FCB, 2013).

Em meados do ano 2017, foi observado que uma estrutura metálica (passarela) que liga o silo de cimento ao silo vizinho apresentava deformação. A fim de identificar a causa desta, diversos estudos foram realizados por empresas especializadas, equipes de topografia e equipes de manutenção local. Através disso, foi possível concluir que a deformação identificada na passarela foi causada pelo recalque diferencial ocorrido na fundação do silo de cimento (Silo 8).

Na FIG 4, apresenta-se, em destaque vermelho, a direção de movimentação do silo e, mais ao norte, está representado o mesmo.

Figura 4 – Detalhe para onde o silo está se inclinando



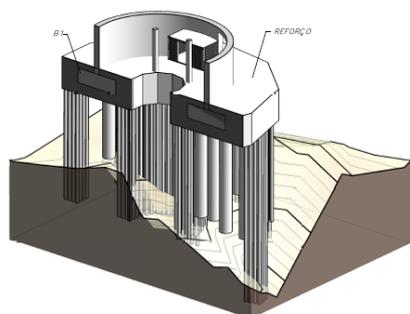
Fonte: Paula Machado (2022).

#### 1.1 Solução projetual adotada

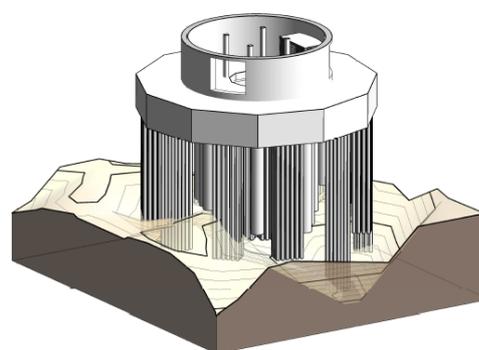
A solução analisada para o recalque existente se dará por um reforço de fundação, onde foi desconsiderada toda a fundação existente (HELENE, 2020). Para estabelecer as condições normais de operação do silo, será desenvolvida a solução técnica de reforço de sua fundação. Esta solução técnica consiste em construir um novo bloco de coroamento, envolvendo o bloco existente. Assim, este novo bloco de coroamento será assentado sobre 215 estacas raízes, reforçadas com vergalhões em aço CA-50, tubo estrutural VMB 350 e ancoradas a uma profundidade de 5m em rocha FIG 5 (PAULA MACHADO, 2022).

O novo conjunto de estacas é composto por 11 blocos de estacas do lado externo do silo, somando um total de 116 estacas e 4 blocos internos ao silo, com 99 estacas, todas com 510mm de diâmetro. Já para as estruturas em torno do silo, foi feito um acréscimo de 12 estacas de reforço com 410 mm de diâmetro conforme a FIG 10 (PAULA MACHADO, 2022).

Figura 5 – Novo bloco de fundação



Vista do Reforço da Fundação em Corte



Vista do Reforço da Fundação

Fonte: Paula Machado (2022).

Para tal desenvolvimento serão necessários alguns procedimentos para segurança e execução:

- Escoramento das lajes intermediárias do silo;
- Demolições;
- Troca de solo / escavação;
- Reforço das estacas existentes com injeção de poliuretano estrutural;
- Execução de Jet Grouting;
- Estaqueamento;
- Prova de carga dinâmica das estacas;

- Bloco de coroamento;
- Protensão do bloco de fundação.

### 1.1.1 Análise crítica da solução adotada

Para realização de um novo bloco de coroamento são encontradas algumas problemáticas que devem ser consideradas:

- Escoramento das lajes internas do silo: é necessário um sistema de ancoramento com tirantes metálicos, os quais evitam que toda a área abaixo da câmara de cimento seja demolida. Em contrapartida, toda semana o sistema de ancoramento tem que ser verificado. Ele possui um total de 230 chumbadores inseridos a 85 cm, distribuídos em quatro peças - uma com 50 furos e três com 60 furos em laje, onde cada tirante, por segurança, foi dimensionado para ter a resistência de um pilar existente. Assim, cada pilar de concreto da estrutura original possui tirantes com a resistência equivalente à de quatro pilares cada, conforme FIG 6 (PAULA MACHADO, 2022).

Figura 6 – Laje do silo suspensa por tirantes



Fonte: Autoria Própria (2022).

- Injeção de poliuretano: para aumento da segurança do trabalho no local, foi solicitada a injeção de poliuretano estrutural, conforme FIG 7, para evitar que o solo frágil se movimente abaixo das estacas existentes do silo. Ao lado em



Figura 8 – Corpo de prova de Poliuretano e microcem 10



Fonte: Autoria própria (2022).

- A Injeção de *Jet grouting*: foi avaliada como necessária, conforme a FIG 9, pois firmava o solo onde as estacas seriam executadas. Contudo, após o início do estaqueamento de um bloco onde o *jet grouting* foi executado, foi observada uma certa dificuldade para perfuração da estaca. O procedimento foi abandonado visto que sua execução não estava afetando de forma positiva o estaqueamento, além disso, durante a execução foi identificado um atraso relativo em questão de perfuração das estacas e os únicos blocos com o procedimento concluídos foram os externos; consumo apresentado no apêndice: Quadro 2. A troca superficial de solo foi totalmente descartada devido ao fato de o solo não ter se mostrado mais resistente para a perfuração das estacas. (PAULA MACHADO, 2022).



Figura 10 – Novo arranjo de estacas para reforço

### 1.1.3 Modificações durante a execução do estaqueamento

Ao locar a estaca EN1 em campo, a mesma poderia comprometer a estabilidade do bloco de fundação 9 e 10 do transportador de correias, devido à projeção de demolição do piso no entorno, o que “descalçaria” o bloco. Mediante a informação citada, houve a necessidade de deslocamento da estaca EN1 para o mesmo alinhamento das estacas EN2/EN3. As estacas EN4, EN5 e EN6 estavam divergentes da bandeja elétrica existente, logo, conforme orientado em campo, as estacas foram realocadas, conforme apêndice imagem 02 (PAULA MACHADO, 2022).

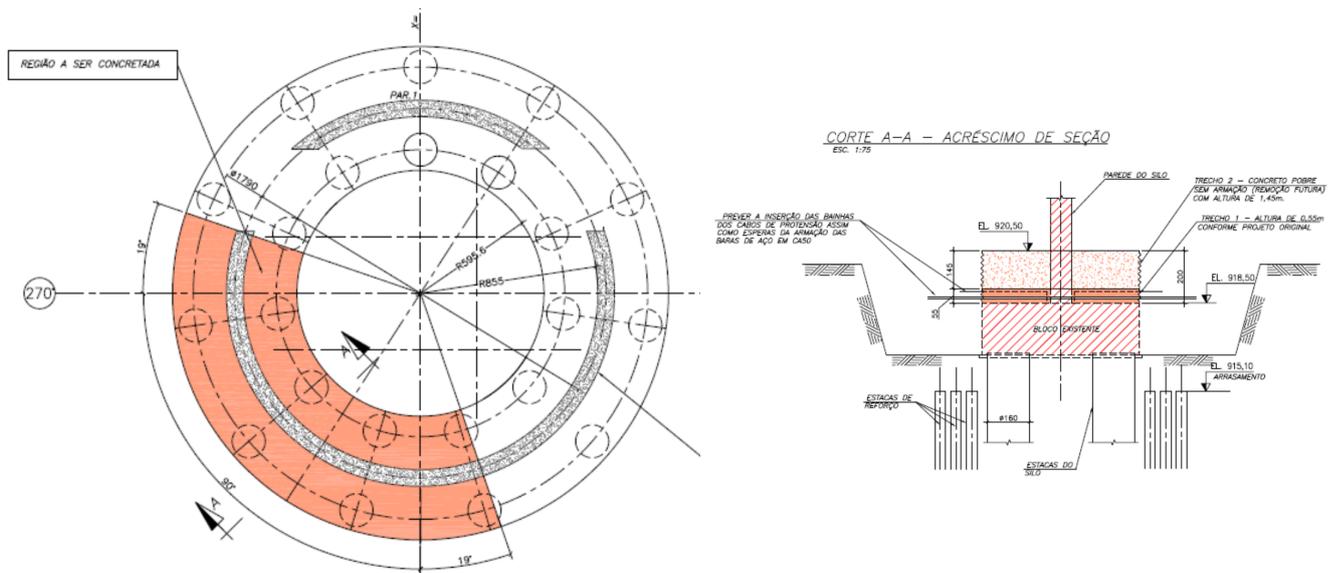
Na perfuração da coluna E29, ao atingir o topo rochoso com aproximadamente 20m de profundidade, a perfuratriz, na tentativa de confirmar se o material encontrado era rocha, a rompeu ocasionando a quebra da haste de perfuração. A haste quebrada ficou cravada na rocha e em seguida foi realizado um enchimento com calda de cimento. Logo após foi feito o fechamento da coluna com *Jet Grouting*, ficando a estaca E29 “perdida”, conforme apêndice imagem 03 (PAULA MACHADO, 2022).

Ao demolir a caixa utilizada como base para uma grua (próximo ao ângulo 180°), foram encontradas 6 estacas executadas anteriormente para a estrutura mencionada. Ao serem locadas em campo, elas estavam com sua posição “em cima” das estacas E93 e E97, que seriam executadas conforme projeto, conforme apêndice imagem 04 (PAULA MACHADO, 2022).

Durante a execução da injeção de argamassa da estaca E30 e E130, as mesmas tiveram a subida do tubo VMB em alguns metros, portanto o mesmo não se encontra mais na cota rochosa e está desfalcado em mais 5m do corpo da estaca. Vale ressaltar que a estaca E30 foi refeita, conforme apêndice imagem 05 (PAULA MACHADO, 2022).

Bloco de contrapeso: após a verificação da continuidade do recalque, foi-se dimensionado um bloco de contrapeso para contenção do mesmo para que, após sua conclusão, fosse emitido um novo laudo técnico que comprovasse que o recalque parou. Assim, seria retomada a etapa final do estaqueamento para posterior execução das demais escavações, para execução do bloco de coroamento final FIG 11 (PAULA MACHADO, 2022).

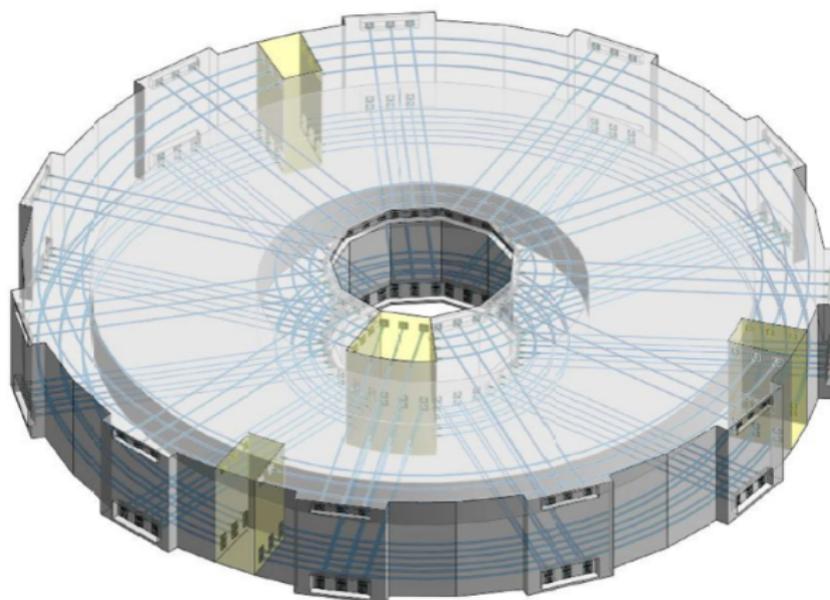
Figura 11- Bloco de contrapeso



Fonte: Paula Machado (2022).

- Protensão: a adoção da protensão se dá basicamente para limitação da movimentação estrutural em uma área específica do bloco, desenvolvida para o caso de haver movimentação, sendo o que unificará todo novo esquema de estacas. Ela deverá ocorrer em todo o bloco, dificultando assim que ele se movimente FIG 12 (PAULA MACHADO, 2022).

Figura 12 – Novo bloco protendido



Fonte: Paula Machado, 2022.

## 2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme o ocorrido na execução do projeto inicial, o comprimento mínimo das estacas de 16m foi respeitado. Porém, devido a uma condição geológica do local, que coincidentemente ocorreu na mesma profundidade que as estacas, foram dimensionadas e executadas com média de comprimento de 17,62m. Mesmo assim, algumas estacas não atingiram o leito rochoso. Outro ponto é que, na entrega do silo, não foi emitido um laudo que confirmasse que o silo esteve em um estado perfeito. Sendo assim, ele pode ter recalcado desde sua execução até seu início de operação.

A atual condição do silo foi resultado de uma má interpretação do projeto, bem como o fato de terem sido executados somente dois ensaios de sondagem do solo para a obra inicial, fazendo com que o subsolo se mantivesse e uma cota rochosa única não passasse de uma camada fina de rocha.

Após a execução de todo o novo bloco de coroamento, o atual recalque do silo deverá ser contido, visto que atualmente é viável a realização de tal reforço, o qual, não sendo executado no tempo correto, pode fazer com que o silo perca sua funcionalidade, tendo que ser demolido e reconstruído. Visto que para demolição do silo, a usina teria que encerrar suas atividades em toda área, e como a alimentação da ensacadeira ocorre através do silo 8, seria outra área afetada com essa parada, portanto tal obra é mais vantajosa tanto economicamente quanto em questão de tempo de execução.

Em dez de novembro de dois mil e vinte dois, a construção do novo bloco de reforço encontra-se parada por tempo indeterminado, visto que para sua continuidade será necessário um tempo para avaliação do silo e seu comportamento após a realização do contrapeso, além de analisar se existem novas falhas estruturais devido à tração e compressão não programada, para ser suportada pela base e paredes do silo.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122: **Projetos e Execução de Fundações**, Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BARROS, C. Apostila de fundações. Pelotas: Instituto Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

BERBERIAN, D. **Engenharia de fundações**. Brasília, DF. INFRASOLO, 2ª EDIÇÃO. Vol único, 906p., 2015.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. Oficina de Textos, 2011.

CIMENTO ITAMBÉ: **Interação solo-estrutura é o que mantém Torre de Pisa em pé**. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/interacao-solo-estrutura-e-o-que-mantem-torre-de-pisa-em-pe/>

CERAMICA CONSTRULAR: Disponível em: <https://ceramicaconstrular.com.br/tipos-de-fundacao/>

Falcão, João, Pinto, Alexandre e Pinto, Francisco. (2000). “**Casos Práticos de Soluções de Jet Grouting Vertical**.” VII Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia, 2000.

FIEP. **Construção civil movimentada economia paraibana e falta mão de obra**. Disponível em: <http://www.fiepb.com.br/fiep/noticias/2011/02/22/construcao-civilmovimentadaeconomia>. Acesso em 07 nov. 2022.

FIVES FCB: Disponível em <https://www.fivesgroup.com>

GIMÉNEZ, J. C. **Análisis de los factores que intervienen en la técnica del jet grouting**. In: Jornadas Técnicas SEMSIG-AETESS - 4ª Sessão - Mejor del Terreno Mediante Inyecciones y Jet-Grouting. Vol. 4, 2004.

GOTLIEB, Mauri. **Fundações: teoria e prática**, 3. ed, São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

HANAI, J. B. **Fundamentos do Concreto Protendido**. São Carlos, 2005.

HELENE, Paulo; BOLINA, Fabricio; TUTIKIAN, Bernardo: **Patologia das estruturas**. 1. ed. Ed. Oficina de Textos, 2019

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. **Patologia das fundações**. 2. ed. Ed. Oficina de Textos: Cubatão, 2015.

NEO IPSUM. **Tipos de recalque**: Quais são e como classificá-los?. Paraíba: Neo Ipsum, 2020. Disponível em: <https://neoipsum.com.br/tipos-de-recalque/>. Acesso em: 26/05/2022.

PAULA MACHADO: Disponível em: <https://casadosdados.com.br/solucao/cnpj/filiais/paula-machado-engenharia-e-projetos-16686370000164>

PEREIRA, Maurício Campos Júnior; NEVES, Rafael Gomes; FAGUNDES, Fabiano. **Patologia em fundações: Identificação e prevenção de problemas**. 2020. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenhariacivil/patologia-em-fundacoes>> Acesso em 11 de maio de 2021.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações**: Guia Prático de Projeto, Execução e Dimensionamento, 3a ed., Editora zigurate, São Paulo, 240 p., 2011.

SOUZA, Mariana Rodrigues de. **Considerações sobre a implementação de princípios de construção enxuta em construtoras de médio porte**. 2010. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

## **APÊNDICE A – DADOS DE CONSUMO E EXECUÇÃO**

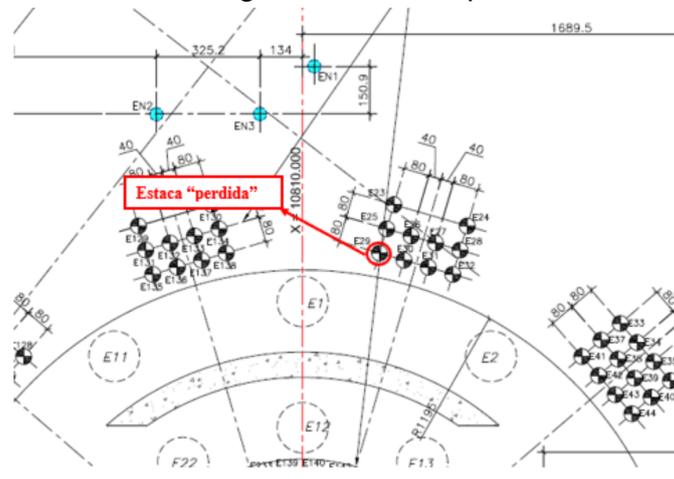
Imagem 01: Situação atual do estaqueamento.

Fonte: Paula Machado, 2022.  
 Imagem 02: Modificação nas EN1, EN4, EN5, EN6.



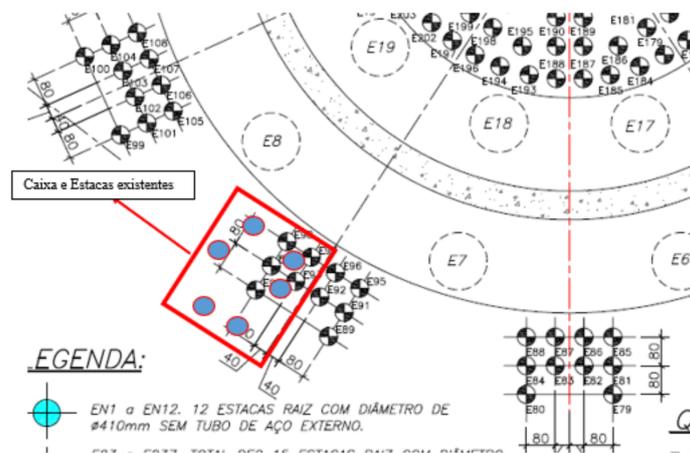
Fonte: Autoria própria, 2022.

Imagem 03: Haste quebrada.



Fonte: Paula Machado, 2022.

Imagem 04: Estacas existentes.



Fonte: Paula Machado, 2022.

Imagem 05: Estaca perdida.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Quadro 1: Consumo de Poliuretano e Microcem 10.

PERFURAÇÕES			POLIURETANO				MICROCEM 10						
OBS:	profund FF	profund CSG	ESTACA	FURO	GASTO			ESTACA	FURO	GASTO			
					GASTO MEDIO L	GASTO REAL L	%			GASTO MEDIO Kg	GASTO REAL Kg	%	
E1	2.52	22.65	E1	1	45,00	160	355,556	E1	1	1		0	
E1	2.50	22.7	E1	2	45,00	190	422,222	E1	2	1		0	
E1	NA	22.67	E1	3	45,00	160	355,556	E1	3	1		0	
E1		23.2	E1	4	45,00	80	177,778	E1	4	1		0	
E2	2.40	20.6	E2	1	45,00	0	0	E2	1	2800	0	0	
E2	2.40	21.5	E2	2	45,00	0	0	E2	2	2800	0	0	
E2	NA	21.3	E2	3	45,00	50	111,111	E2	3	1		0	
E2		20.9	E2	4	45,00	80	177,778	E2	4	1		0	
E3	3.47	18	E3	1	45,00	0	0	E3	1	2800	0	0	
E3	2.90	16.9	E3	2	45,00	0	0	E3	2	2800	0	0	
E3	0.70	16.9	E3	3	45,00	30	66,667	E3	3	1		0	
E3	0.75	16.9	E3	4	45,00	80	177,778	E3	4	1		0	
E4	2.35	?	E4	1	45,00	0	0	E4	1	2800	80	2,85714	
E4	2.49	20.7	E4	2	45,00	0	0	E4	2	2800	0	0	
E4	NA	20.4	E4	3	45,00	120	266,667	E4	3	1	0	0	
E4		?	E4	4	45,00	348	773,333	E4	4	1		0	
E5	?	21.3	E5	1	45,00	0	0	E5	1	2800	190	6,78571	
E5	?	?	E5	2	45,00	0	0	E5	2	2800	120	4,28571	
E5	NA	19	E5	3	45,00	90	200,000	E5	3	1		0	
E5		20.25	E5	4	45,00	40	88,889	E5	4	1		0	
E7	NA	17	E7	1	45,00	0	0	E7	1	2800	100	3,57143	
E7		17	E7	2	45,00	0	0	E7	2	2800	0	0	
E15	<b>EXECUÇÃO CANCELADA</b>												
E15	<b>EXECUÇÃO CANCELADA</b>												
					990,00	1428	144,242%						0,795%

Fonte: Autoria própria, 2022.

Quadro 2: Consumo de nata de cimento para Jet Grouting.

	CIMENTO	TRAÇO	PROFUNDIDADE	SECÇÃO, VOLUME		EXESSO
	UTILIZADO Kg	UTILIZADO	REAL m	PREVISTO m linear	REAL m linear	OBTIDO m linear
E23	4080	1:1	15	3600	4200	600
E24	3840	1:1	14,5	3480	4060	580
E25	4080	1:1	15	3600	4200	600
E26	4100	1:1	15	3600	4200	600
E27	4080	1:1	15	3600	4200	600
E28	3840	1:1	14,5	3480	4060	580
E29	4320	1:1	15	3600	4200	600
E30	3840	1:1	14,5	3480	4060	580
E31	4080	1:1	15,5	3720	4340	620
E32	4080	1:1	15	3600	4200	600
E33	3630	1:1	13,5	3240	3780	540
E34	3620	1:1	13	3120	3640	520
E35	3600	1:1	13	3120	3640	520
E36	3615	1:1	13	3120	3640	520
E37	3620	1:1	13,5	3240	3780	540
E38	3600	1:1	13	3120	3640	520
E39	3610	1:1	13	3120	3640	520
E40	3600	1:1	13	3120	3640	520
E41	3600	1:1	13	3120	3640	520
E42	3615	1:1	13	3120	3640	520
E43	3610	1:1	13	3120	3640	520
E44	3600	1:1	13	3120	3640	520
E69	3360	1:1	15	3600	4200	600
E70	3840	1:1	15	3600	4200	600
E71	3360	1:1	12	2880	3360	480
E72	3360	1:1	12	2880	3360	480
E73	3840	1:1	15	3600	4200	600
E74	3360	1:1	12	2880	3360	480
E75	2640	1:1	10	2400	2800	400
E76	3360	1:1	15	3600	4200	600
E77	2880	1:1	14	3360	3920	560
E78	3600	1:1	15	3600	4200	600
E129	3840	1:1	14	3360	3920	560
E130	4080	1:1	15	3600	4200	600
E131	3360	1:1	14	3360	3920	560
E132	4080	1:1	15	3600	4200	600
E133	5040	1:1	20	4800	5600	800
E134	4320	1:1	16	3840	4480	640
E135	3840	1:1	14,5	3480	4060	580
E136	4800	1:1	19	4560	5320	760
E137	4320	1:1	16	3840	4480	640
E138	4800	1:1	16	3840	4480	640

Fonte: Autoria própria, 2022.