

**UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS – UNIEVANGÉLICA
CAMPUS CERES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DIOGO NUNES DA SILVA
VICTOR GABRIEL SILVA CAIXETA**

**RESTAURAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE FUNDAÇÃO EM EDIFÍCIO DE
MÚLTIPLOS PAVIMENTOS DEVIDO A RECALQUES**

PUBLICAÇÃO N°: 08

**CERES / GO
2023**

**DIOGO NUNES DA SILVA
VICTOR GABRIEL SILVA CAIXETA**

**RESTAURAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE FUNDAÇÃO EM EDIFÍCIO DE
MÚLTIPLOS PAVIMENTOS DEVIDO A RECALQUES**

PUBLICAÇÃO Nº: 08

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

ORIENTADOR: LUIZ TOMAZ DE AQUINO NETO

CERES / GO: 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, DIOGO NUNES; CAIXETA, VICTOR GABRIEL SILVA.

Restauração e Recuperação Estrutural em Edifício de Múltiplos Pavimentos para Prevenir o Recalque. 2023 xi, 25 P, 297 mm (ENC/UniEVANGÉLICA, Bacharel, Engenharia Civil, 2023).

TCC – UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Recalque

2. Edifício

3. Fundações

4. Restauração

I. ENC/UNI

II. Restauração e Recuperação de Fundação em Edifício de Múltiplos Pavimentos Devido a Recalques.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NUNES, D. N.; CAIXETA, V. G. S. Restauração e Recuperação Estrutural em Edifício de Múltiplos Pavimentos para Prevenir o Recalque. TCC, Publicação ENC. PF-001A/22, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Ceres, GO, 25 p. 2022.

CESSÃO DE DIREITOS

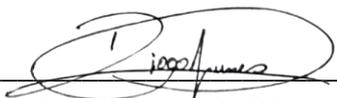
NOME DOS AUTORES: Diogo Nunes da Silva; Victor Gabriel Silva Caixeta

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Restauração e Recuperação Estrutural em Edifício de Múltiplos Pavimentos para Prevenir o Recalque.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2023

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Diogo Nunes da Silva

CEP 76300-000 Ceres/GO - Brasil



Victor Gabriel Silva Caixeta

CEP 76300-000 Ceres/GO - Brasil

**DIOGO NUNES DA SILVA
VICTOR GABRIEL SILVA CAIXETA**

**RESTAURAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE FUNDAÇÃO EM EDIFÍCIO DE
MÚLTIPLOS PAVIMENTOS DEVIDO A RECALQUES**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

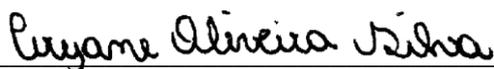
APROVADO POR:



**LUIZ TOMAZ DE AQUINO NETO, titulação (Universidade Evangélica de Goiás –
UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(ORIENTADOR)**



**ROBSON DE OLIVEIRA FELIX, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia, FACEG)
(EXAMINADOR EXTERNO)**



**ARYANE OLIVEIRA SILVA, Especialista
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: CERES/GO, 11 de dezembro de 2023.

RESTAURAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE FUNDAÇÃO EM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS DEVIDO A RECALQUES

Diogo Nunes da Silva¹
Victor Gabriel Silva Caixeta²
Luiz Tomaz de Aquino Neto³

RESUMO

Levando em consideração as variáveis tipos de anomalias presentes na construção civil, a problemática do recalque em fundações é um desafio significativo enfrentado na engenharia civil, sendo uma ocorrência que demanda atenção especial durante o planejamento, execução e manutenção de estruturas. O recalque, caracterizado pelo assentamento de uma fundação, pode resultar de diversos fatores, tais como variações nas características do solo e sobrecargas. Logo, será mostrado desde os conhecimentos sobre fundações e os possíveis recalques, com o intuito de demonstrar a restauração da fundação e prevenção do agravamento dessas anomalias. O estudo de caso se deu na interpretação dos problemas na fundação do edifício *Amethyst* da Rua Eça de Queiroz no centro de Caldas Novas – Goiás, que resultaria em um recalque prejudicial a estrutura. É viável frisar que importância de uma análise do solo é vital. Um método comum e mais usado para a investigação do solo é o SPT o qual foi fornecido pela própria empresa executora das pesquisas e reforços na fundação da obra e que será aplicado para realizar o dimensionamento da técnica em estudo. Foram elaboradas duas alternativas viáveis como solução para o problema, essas alternativas são a aplicação de injeção de nata de cimento de alta pressão (*jet-grouting*) e de estaca raiz. A nata de cimento aglutina às partículas do solo fazendo então uma coluna solo-cimento. Essa técnica visa o melhoramento da resistência do solo, através da produção de uma nata de cimento que é injetada a alta pressão no local onde se encontrou a falha, por exemplo. A estaca raiz tem como característica principal a sua capacidade de transferir cargas para camadas mais profundas e mais resistentes encontradas no solo, visto que é constituída por um corpo cilíndrico em concreto armado, instalado através de furos verticais ou inclinados. No seguinte artigo é apresentado, dentre as duas opções já citadas, o reforço de fundação que mais se mostrou satisfatório para solucionar o problema encontrado.

Palavras-chave: *Jet-grouting*. Recalques. Solo-cimento. Estaca raiz.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Fundações	6
2.2 Tipos de fundações	6
2.2.1 <i>Fundações superficiais.....</i>	7
2.2.2 <i>Fundações profundas</i>	7
2.3 Recalques de fundação	8
2.3.1 <i>Recalque por adensamento.....</i>	8
2.3.2 <i>Recalque elástico.....</i>	8
2.3.3 <i>Recalque por escoamento lateral</i>	9
2.4 Formas de recuperação de danos causados por recalque	9
2.4.1 <i>Inserção de estaca raiz para estabilização</i>	9
2.4.2 <i>Injeção de nata de cimento de alta pressão (jet grouting).....</i>	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 Materiais.....	13
3.2 Métodos	13
3.2.1 <i>Coleta e Levantamento de dados.....</i>	13
3.2.2 <i>Ensaio Realizados.....</i>	13
3.2.3 <i>Direcionamento da Pesquisa.....</i>	15
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	15
4.1 Apresentação dos Resultados dos Ensaio	15
4.2 Fundação Existente na Edificação	16
4.3 Solução para o Problema Observado	17
4.3.1 <i>Injeção de nata de cimento sob alta pressão.....</i>	17
5 CONCLUSÃO.....	20
REFERÊNCIAS	21
ANEXO A – PLANTA BAIXA DA EDIFICAÇÃO.....	24
ANEXO B - RESULTADO DA SONDAGEM	25

1 INTRODUÇÃO

Com o grande avanço de tecnologias e o desenvolvimento social, as demandas por edificações foram aumentando cada vez mais, apresentando uma grande expansão na construção civil. Porém mesmo com esse avanço do aperfeiçoamento de materiais de construção, processos e no campo das técnicas, continua-se identificando uma quantidade elevada de construções apresentando erro no seguimento de projetos, mão de obra não qualificada, uso inadequado de materiais e principalmente falta de conhecimento a respeito das fundações que serão necessárias (PORTO, 2016).

Para que uma fundação atinja seu desempenho máximo, sendo capaz de transferir eficientemente as cargas provenientes de uma estrutura para o solo, é de suma importância que se adote precauções específicas, visando o seu comportamento durante sua existência. Isso se torna ainda mais crucial, uma vez que o comprometimento dessa fundação ao longo tempo devido a diversos problemas pode impactar significativamente sua vida útil. Desde a fase de concepção do projeto até a conclusão da obra, e até mesmo diante de danos em sua estrutura, a falta de um estudo detalhado sobre as características do solo no local emerge como um fator determinante para o surgimento de problemas que podem comprometer tanto a execução quanto a conclusão adequada da fundação. Torna-se cristalina, portanto, realizar uma análise minuciosa do solo e implementar medidas preventivas durante todas as etapas do processo construtivo, a fim de garantir a durabilidade e eficácia da fundação o passar do tempo.

Valente, Silva e Calixto (2009) argumentam que no Brasil a realidade da construção civil apresenta muitas edificações com patologias, que na maioria das vezes, são devidas a uma combinação de fatores, tendo como origem deficiências nas etapas de planejamento, projeto, execução, uso e manutenção dos edifícios.

A partir de Gonzales, Oliveira e Amarante (2020) pode-se ainda esmiuçar que a engenharia também é responsável pelo estudo dos problemas que comprometem a construção civil como o recalque de fundação por exemplo. Na engenharia o estudo dos recalques nas construções, tem como objetivo esclarecer suas origens juntamente com suas causas, logo se entende os mecanismos de ocorrência que levou ao surgimento da anomalia na edificação. Assim se torna mais clara a resolução para o problema manifestado que consequentemente poderia vir a influenciar negativamente na finalidade e, por conseguinte, na vida útil da obra.

Outrossim, um dos problemas que circundam os recalques em fundações, seja ela de grandes prédios ou de uma simples residência no térreo, é o entendimento a respeito dele. Segundo Morcelli (2015), ao se construir uma edificação, o recalque do mesmo deve ser o menor possível. Entretanto diante de uma análise geotécnica do solo realizada de maneira ineficiente ou mal interpretada e até mesmo o tipo de fundação adotada for mal escolhida, pode ocorrer o aparecimento de fissuras na parede e na estrutura.

Os problemas decorrentes de um recalque colocam em risco não somente a estrutura e sua segurança, mas também podem acarretar diversos gastos não planejados durante a obra ou até mesmo após a sua conclusão, fazendo-se assim com que surja insatisfação não somente por parte do proprietário, como também dos engenheiros envolvidos diretamente em todas as etapas da construção.

Levando em consideração que o recalque pode acontecer por diversos motivos e que um deles é a falta de conhecimento detalhado a respeito das características do solo. Vale ressaltar que segundo Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), pode-se afirmar que todas as fundações sob carga apresentam recalques, pois os solos são materiais deformáveis que, ao serem carregados, apresentam variações de volume, provocando deslocamentos das fundações. A definição de comportamento inadequado na fase de projeto, quando são feitas previsões de deslocamentos sob o ponto de vista de recalques de uma fundação, não é, no entanto, trivial.

O objetivo do estudo de caso é apresentar as possíveis resoluções para a restauração e recuperação de fundações, especialmente diante dos recalques mais comuns em edificações. Dessa forma, busca-se analisar o comportamento que se manifesta na estrutura do edifício *Amethyst*, levando em consideração a possível ocorrência de recalque, e fornecer informações essenciais para a identificação, avaliação e solução dessa anomalia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O objetivo desse capítulo é compreender algumas propriedades das fundações que são de grande importância para determinar eventuais problemas futuros, levando em consideração teorias e afirmações de autores a respeito dos assuntos envolvidos nessa temática. O material apresentado é utilizado como base teórica para o desenvolvimento do modelo proposto.

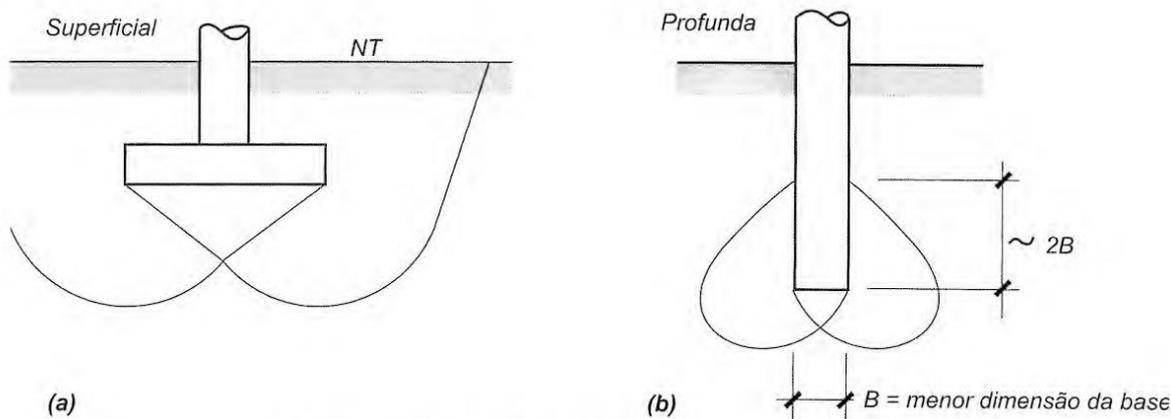
2.1 Fundações

Um dos maiores riscos que se pode correr no campo da construção civil é iniciar uma obra sem um conhecimento tão perfeito quanto possível do terreno (rocha ou solo) de fundação (CAPUTO, 2015). Entende-se como fundação o sistema formado pelo terreno e pelo elemento estrutural que transmite ao solo as cargas advindas da edificação através de uma base sólida e estável, ou seja, um apoio que proporcione condições de segurança quanto a deformações e rupturas (LUÉVANOS-ROJAS, 2014). De fato, a busca pela solução e escolha de uma fundação demanda tempo e conhecimento, podendo-se ressaltar aquele acerca das cargas que serão descarregadas sobre o elemento, recalques admissíveis da edificação, tipo de solo, resistência de suas camadas, e localização do nível d'água do lençol freático (ALBUQUERQUE E GARCIA, 2020).

2.2 Tipos de fundações

As fundações, como qualquer outra parte de uma estrutura, devem ser projetadas e executadas para garantir, sob a ação das cargas em serviço, as condições mínimas, que são: segurança, funcionalidade e durabilidade. Portanto, sua escolha deve ser feita após a constatação de que ela satisfaz condições técnicas e econômicas da obra em apreço (ALONSO, 2010). As fundações são classificadas em superficiais (a), que se caracteriza por serem conhecidas como “diretas” ou rasas, e fundações profundas (b). (VELLOSO E LOPES, 2010).

Figura 1- Fundação superficial (a) e profunda (b).

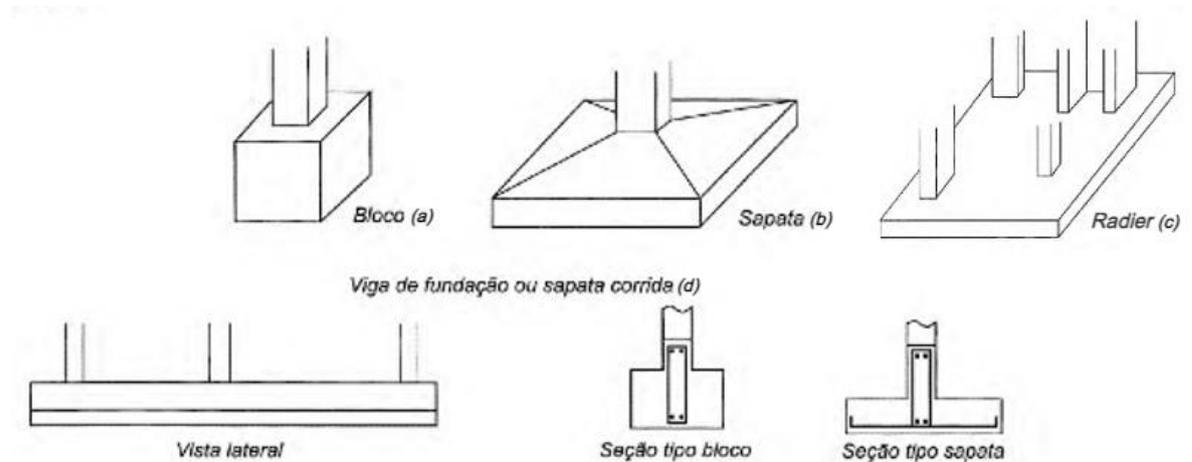


Fonte: Velloso e Lopes (2010).

2.2.1 Fundações superficiais

Pode-se observar que os elementos de fundação cuja carga é transmitida ao terreno, de forma predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Incluem-se neste tipo de fundação as sapatas, os blocos, os radier, as sapatas associadas, as vigas de fundação e as sapatas corridas, de acordo com a NBR 6122 (2022). Os elementos de fundações superficiais do tipo bloco (a), sapata isolada (b), radier (c) e sapata corrida (d) podem ser notados na Figura 2.

Figura 2 – Tipos de fundações superficiais.

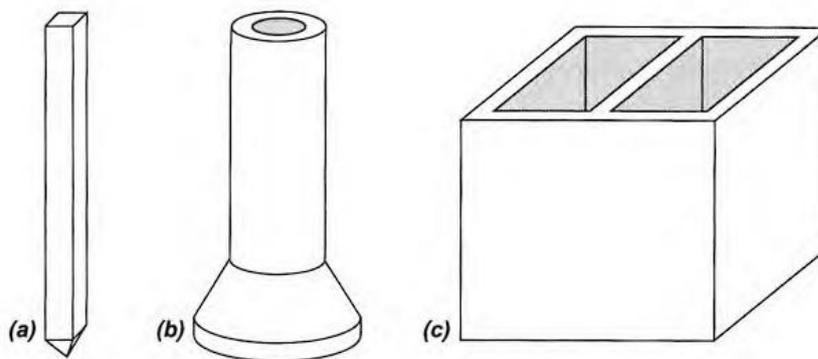


Fonte: Modificado de Velloso e Lopes (2010).

2.2.2 Fundações profundas

As fundações profundas, são elementos estruturais esbeltos que, colocados no solo por cravação ou perfuração, têm a finalidade de transmitir cargas ao mesmo, seja pela resistência sob sua extremidade inferior (resistência de ponta), seja pela resistência ao longo do fuste (atrito lateral) ou pela combinação dos dois (ALONSO, 2010). Alguns tipos de fundações profundas como estaca (a), tubulão (b) e caixão (c) podem ser notados na Figura 3 a seguir.

Figura 3 - Tipos de fundações profundas



Fonte: Velloso e Lopes (2010).

2.3 Recalques de fundação

A partir da concepção de Milititsky; Consoli e Schnaid (2015), as manifestações patológicas em fundações são as deformações ocasionadas devido ao movimento da estrutura do solo. As quais, por sua vez, podem ser ocasionadas nas fases de investigação do subsolo, análise e projeto das fundações, execução das fundações, eventos pós-conclusão das fundações, degradação dos materiais constituintes das fundações. Sendo o problema mais comum o recalque diferencial, em maioria dos casos ocorrendo por falta de homogeneidade do terreno, ocorrendo resistência diferente em vários pontos do solo, sendo assim, a fundação passa por um recalque diferencial mesmo que mínimo, podendo ocasionar problemas em toda a estrutura.

A manifestação patológica com maior significância é o recalque diferencial. O recalque ou assentamento é o termo designado na engenharia civil para caracterizar o fenômeno que ocorre quando uma edificação sofre um rebaixamento devido ao adensamento do solo sob sua fundação (MILITITSKY; CONSOLI E SCHNAID, 2015).

Segundo Rebello (2008), sérios danos estruturais podem ser provocados quando há recalque de fundação. Isso pode acontecer quando a relação entre fundação e solo é prejudicada pela falha de interação com uma camada rígida do solo em seu contato, em função da carga a ser demandada. Denomina-se recalque a deformação que ocorre no solo quando submetido a cargas. Essa deformação provoca movimentação na fundação que, dependendo da intensidade, pode resultar em sérios danos à superestrutura (REBELLO, 2008).

As manifestações em fundações podem ocorrer em todas as fases de uma obra, e considerando os efeitos que esse recalque diferencial provoca na estrutura, ficando explícito a importância de evitar e tendo um conhecimento sobre as possibilidades que podem ocorrer, fica fácil de encontrar maneiras de intervir antes que danifique toda a estrutura (REBELLO, 2008).

2.3.1 Recalque por adensamento

A deformação por adensamento ocorre pela diminuição no volume aparente do maciço de solo, causada pelo fechamento dos vazios deixados pela água expulsa pela pressão que as cargas exercem sobre a fundação (REBELLO, 2008). De acordo com Caputo (2015) o recalque por adensamento, também chamado "compressão primária", constitui a parcela mais importante do recalque total.

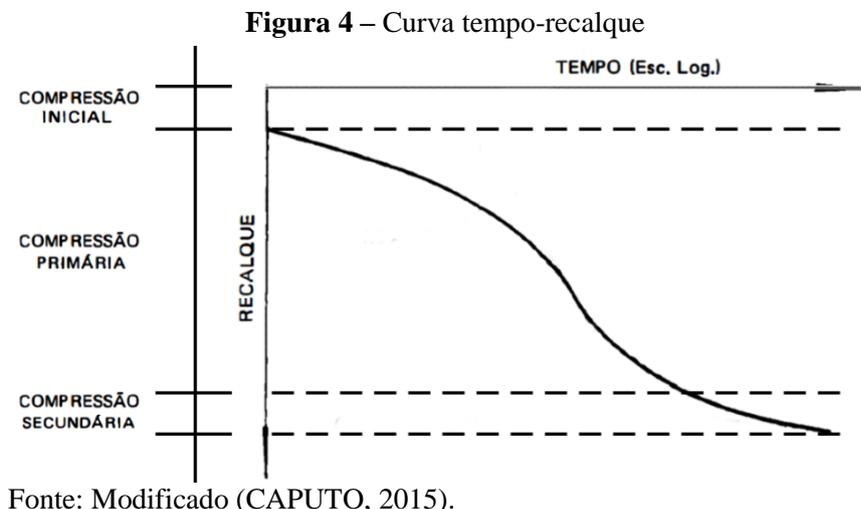
2.3.2 Recalque elástico

A partir da perspectiva de Rebello (2008), recalque elástico ocorre imediatamente após a aplicação da carga e são maiores em solos não coesivos, ou seja, em solos que não apresentam características argilosas. Complementa ainda que para a determinação desse tipo de deformação, é imprescindível que se saiba o valor do módulo de elasticidade do solo (E).

Corroborando com tal contexto, Caputo (2015) ressalta que suas causas e sinais manifestados que comprometem a edificação caracterizam os tipos de patologias. Assim, diversas são as edificações que estão sujeitas a um deslocamento vertical ou a recalques diferenciais, após as suas conclusões ou até durante as suas execuções, por determinado período, até que seja alcançado um equilíbrio entre seus carregamentos e o solo.

Quando ocorre o recalque diferencial de uma fundação começa a ficar evidentes fissuras em diferentes elementos da obra. Ocorrendo devido a distorção em excesso nos elementos, comprometendo a edificação. Sendo assim, pode ocorrer um desalinhamento e modificando cargas inicialmente dimensionadas para outra estrutura, alterando todo funcionamento dos elementos, causando o colapso da mesma (CAPUTO, 2015).

Como resultado de um ensaio de adensamento, traçam-se também as curvas tempo-recalque para cada um dos estágios de carregamento. Estas curvas permitem determinar os coeficientes de adensamento e permeabilidade do solo, os quais, desempenham um importante papel no cálculo dos recalques (CAPUTO, 2015). De acordo com a Figura 4 a seguir.



2.3.3 Recalque por escoamento lateral

Esse tipo de deformação acontece com maior predominância em solo não coesivos. Trata-se da migração de solo de regiões mais solicitadas para as menos solicitadas, portanto, o deslocamento dá-se do centro para a lateral (REBELLO, 2008). Segundo Caputo (2015) esse tipo de recalque verifica-se de maneira mais acentuada nos solos não coesivos sob fundações superficiais.

2.4 Formas de recuperação de danos causados por recalque

Diversas abordagens estão disponíveis para mitigar os danos ocasionados pelo recalque em fundações. Estas estratégias podem variar desde métodos de reforço, como a injeção de material sob as fundações, até a estabilização com estacas e pilares para fortalecer a fundação, assim como a redistribuição das cargas que atuam na fundação através de estruturas adicionais.

2.4.1 Inserção de estaca raiz para estabilização

A NBR 6122 (ABNT, 2022) destaca que a estaca raiz é uma estaca escavada de pequeno diâmetro, moldada *in loco*, no local da construção, em que toda a perfuração é revestida, em solo, por meio de segmentos de tubos metálicos (revestimento) que vão sendo rosqueados à medida que a perfuração é executada. Onde os segmentos utilizados no revestimento são recuperados.

A estaca raiz é utilizada em direções inclinadas ou vertical e realizadas por uma perfuração por rotação, sendo executada em pequeno diâmetro e concretada *in loco*, depois de completo a escavação e retirado o solo do local por uma corrente fluída, e inserida a armadura ao longo da estaca e efetuada a concretagem através de um tubo de injeção. Segundo Velloso & Lopes (2010) esse tipo de estaca foi desenvolvido em sua origem para a contenção de encostas quando eram cravadas formando reticulados, em seguida foram utilizados como reforços de fundações e só após isso foram usadas realmente como fundações normais.

Esse tipo de fundação começou a ser introduzida no Brasil em meados da década de 70, sendo utilizadas em obras antigas que estavam sujeitas a recalque, sendo assim, necessitavam

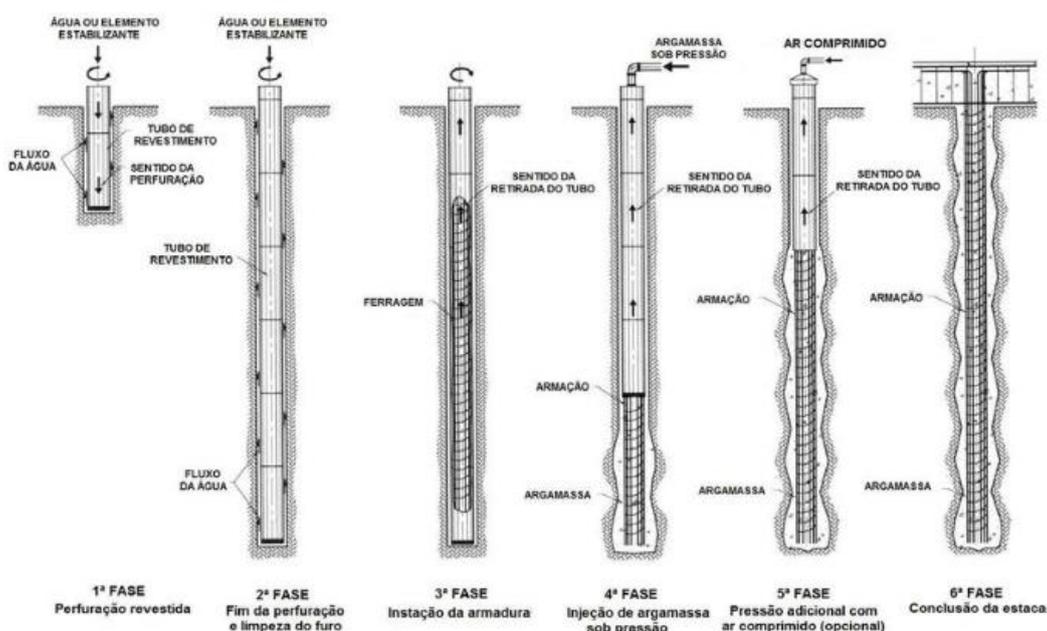
de reforços na estrutura. Segundo Silva e Pereira (2017), o conceito inicial era produzir um sistema de fundação com grupos de estacas inclinadas em várias direções, consolidando o maciço de solo, como o sistema de raízes de uma árvore.

Velloso e Lopes citam que segundo a NBR 6122 (ABNT, 2022), estaca raiz caracteriza-se pela execução por perfuração rotativa ou rotopercussiva e por uso de revestimento (conjunto de tubos metálicos recuperáveis) integral no trecho em solo, e que é completada por colocação de armação em todo comprimento e preenchimento com argamassa cimento-areia. A argamassa é adensada com o auxílio de pressão, em geral dada por ar comprimido.

Segundo a NBR 6122 (2022), o processo executivo das fundações do tipo Raiz se dá conforme os passos a seguir. Sendo realizado a perfuração mediante a circunstância, em solo normal é utilizada perfuratriz rotativa que introduz o revestimento por meio de injeção de água de circulação direta em seu interior. Em solos rochosos é utilizado o mesmo equipamento, mas a perfuração é seguida por dentro do revestimento com equipamentos apropriados para perfuração de rochas.

Essas estacas têm particularidades que permitem sua utilização em casos em que os demais tipos de estacas não podem ser empregados: (1) não produzem choques nem vibrações; (2) há ferramentas que permitem executá-las através de obstáculos tais como blocos de rocha ou peças de concreto; (3) os equipamentos são, em geral, de pequeno porte, o que possibilita o trabalho em ambientes restritos; (4) podem ser executadas na vertical ou em qualquer inclinação. Com essas características, as estacas raiz (e as microestacas injetadas) praticamente eliminaram do mercado as estacas prensadas (tipo Mega), para reforço de fundações (VELLOSO E LOPES, 2010). Na Figura 5 é possível observar-se como é o processo de execução de uma estaca raiz.

Figura 5 - Processo executivo da estaca raiz



Fonte: Silva (2011).

2.4.2 Injeção de nata de cimento de alta pressão (*jet-grouting*)

Segundo Falconi (*et al.*, 2019) “*jet-grouting*” é um processo pelo qual ar, água e calda de cimento, numa combinação adequada, são injetados a pressões muito elevadas, através de

orifícios de alguns milímetros de diâmetro, localizados na extremidade de hastes compostas de um ou mais tubos concêntricos.

O jato produz um corte no solo misturando-se com a calda de modo a formar, pela rotação da haste, uma “coluna” de solo-cimento, embutida no maciço, cuja dosagem pode ser regulada pela composição da calda, pela variação da pressão do jato e pelas velocidades de rotação e translação da haste. A justaposição de colunas pode formar paredes para conter um maciço ou para permitir a abertura de uma cavidade ou vala (FALCONI *et al.*, 2019).

De acordo com Carletto (2009), os fundamentos da tecnologia “*jet-grouting*” consiste em uma técnica de tratamento de solos que consiste no jateamento de um fluido cimentante (geralmente calda de cimento) a alta velocidade, por meio de bicos de pequeno diâmetro (de 2 a 4 mm) dispostos lateralmente na extremidade de uma composição de hastes. Dotadas de movimento rotacional a velocidade constante, as hastes são extraídas lentamente em direção à superfície do terreno, dando origem a corpos de solo-cimento de formato aproximadamente cilíndrico, denominadas colunas de *jet-grouting*.

A alta pressão com que a nata é bombeada de até 550 vezes a pressão atmosférica, sendo assim, trazendo ao fluido uma energia de natureza potencial, que transforma em energia cinética logo a saída pelos bicos (CARLETTO, 2009).

O método executivo das colunas de *jet-grouting* é baseada no levantamento de uma haste de aplicação de jatos com movimentos de rotação, gerando corpos de solo-cimento com diversas geometrias. Segundo Neves (2010), as geometrias assumidas pelas colunas de *jet-grouting* variam conforme o ângulo de rotação da haste, desde uma coluna, quando a haste sobe com uma rotação de 360°, até um painel, quando a haste sobe com ausência de rotação.

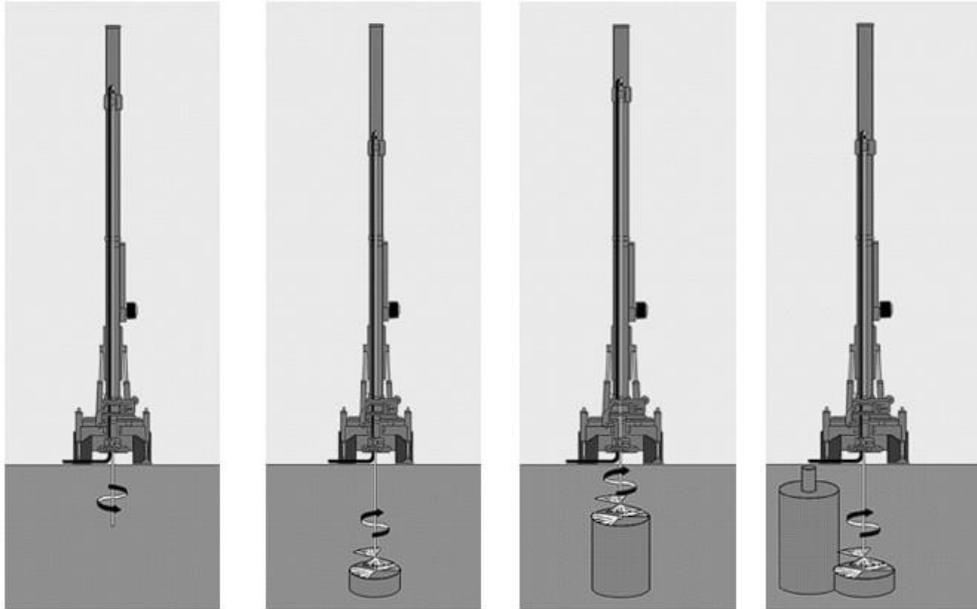
De acordo com a afirmação de Carletto (2009) a técnica *jet-grouting* pode ser dividida em três principais categorias, sendo essas o jato simples, o jato duplo e o jato triplo, se diferenciando pelo número de jatos que são aplicados no subsolo. A seleção desse sistema e determinada pelas condições do solo, pela resistência exigida para o material tratado, a experiencia no sistema naquele solo e o diâmetro desejado para as colunas solo-cimento.

Apesar da tecnologia de *jet-grouting* possuir três diferentes sistemas de jatos, algumas evoluções tecnológicas desse método estão disponíveis no mercado. Conforme afirma Croce (*et al.*, 2014), essas evoluções se baseiam na obtenção de maiores diâmetros, a partir da redução da perda de carga, na execução das colunas de solo-cimento. Algumas dessas evoluções estão descritas a seguir.

Carletto (2009) destaca que a utilização dessa técnica é a facilidade de viabilização do tratamento do solo em cotas abaixo do lençol freático, a sua aplicação em variáveis solos como cascalhos, argilas podendo também ser executado em rochas de baixa resistência, além de ser uma técnica que possibilita a realização de diversas geometrias, sem produzir vibrações, evitando causar abalo na estrutura e um baixo nível de ruído.

Segundo Koshima (2016) essa técnica pode ser executada em qualquer tipo de solo, sem limitações de granulometria, presença de água ou geológica, sendo utilizado em qualquer direção, dependendo do tratamento que será realizado no solo. Como pode ser visto na Figura 6 a seguir.

Figura 6 – Execução de colunas de “jet-grouting”.

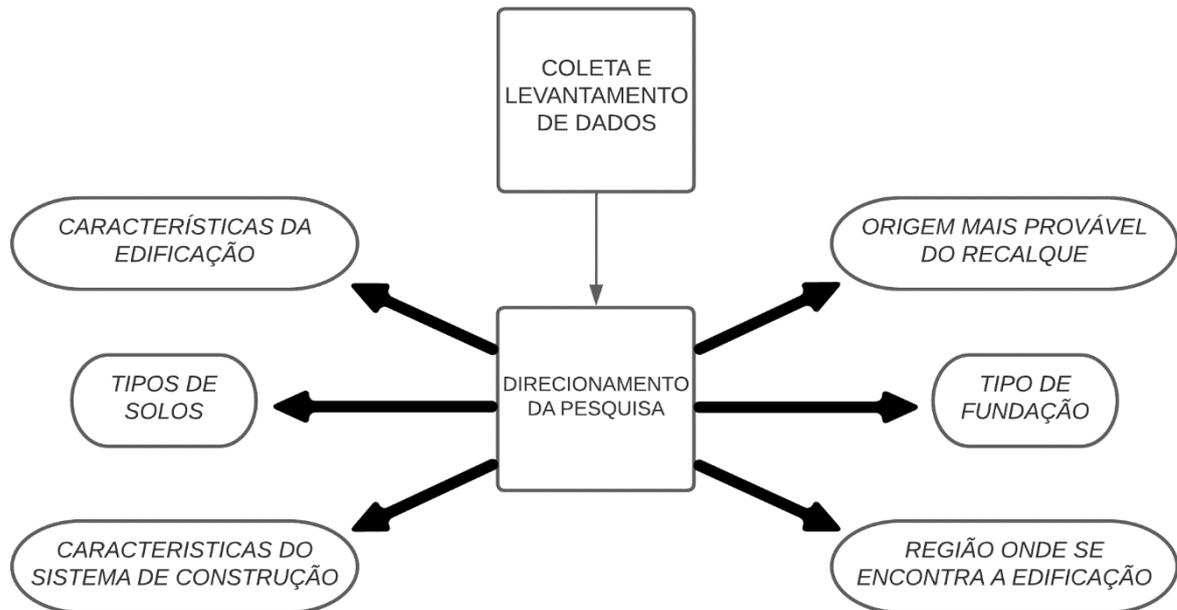


Fonte: Modificado (CARLETTO, 2009).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O organograma apresentado na Figura 7 destaca o processo de desenvolvimento deste trabalho. Nele, é possível observar o material foco de estudo neste trabalho, bem como todos os procedimentos desenvolvidos para se chegar ao resultado esperado.

Figura 7 – Organograma adotado para a metodologia



Fonte: Próprios autores (2023)

3.1 Materiais

O material de estudo deste trabalho é baseado no estudo de literatura focada em fundações e problemas em edificações, em especial aqueles derivados de recalques. Vale destacar o uso de revistas, artigos e livros que tem como objetivo demonstrar e solucionar as causas dos recalques em fundações. O estudo de caso se baseia na interpretação dos problemas na fundação do edifício *Amethyst* que está localizado na Rua Eça de Queiroz, Centro de Caldas Novas – Goiás sendo uma edificação nova com intuito de prestar serviços de cunho comercial com a locação de apartamentos como é possível ser notado em sua planta baixa no Anexo A.

O objeto de estudo passou por execução de reforços nas fundações do empreendimento residencial com 25 (vinte e cinco) pavimentos contendo 574 m² (quinhentos e setenta e quatro metros quadrados) por pavimento, onde contém subsolo, térreo, tipo, cobertura, barrilete e reservatório.

Outrossim, seria realizada a alteração no projeto inicial visando um novo acréscimo de cargas verticais através da construção de dois novos pavimentos na edificação. Logo, foi realizada uma perfuração para pesquisa, onde se verificou *in loco* que as fundações haviam sido executadas em uma profundidade inferior à estabelecida em projeto (profundidade executada era de quatro metros e a profundidade apresentada no projeto era de seis metros). Após a resolução dos problemas identificados, a edificação se encontra em seu estado finalizado sem a execução dos dois novos pavimentos.

3.2 Métodos

3.2.1 Coleta e Levantamento de dados

Conforme foi apresentado na Figura 7, os dados foram coletados levando em consideração desde a execução da fundação até a ocasião em que se deu o surgimento do recalque. Assim, esses materiais foram recolhidos junto à empresa responsável tanto pela sondagem do solo quanto da execução da fundação. Os dados utilizados para a elaboração do presente trabalho foram aqueles relacionados ao recalque, sua causa e restauração. Para isso, utilizou-se de imagens, tabelas e gráficos que permitem a visualização de como se deu o dano, quais suas causas e formas de correção.

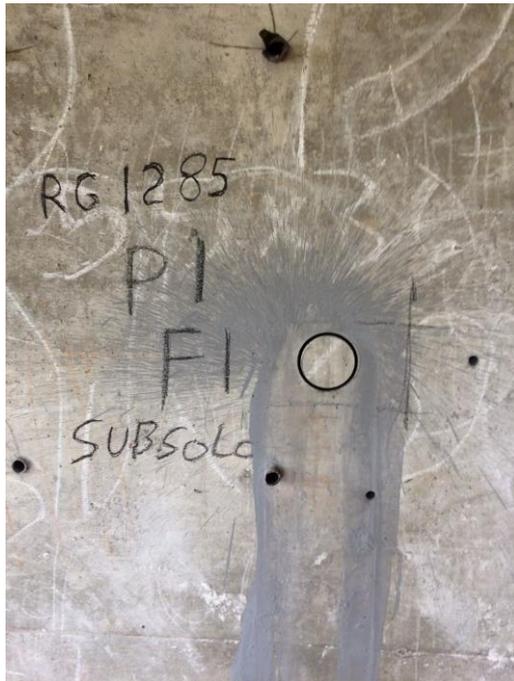
3.2.2 Ensaios Realizados

3.2.2.1 Ensaio de Resistência

Com as mudanças no projeto inicial, foi essencial a realização de testes na resistência dos pilares, foram executadas extrações de corpos de prova deles, levando para laboratório, onde verificou-se a resistência atual do concreto. O procedimento de extração dos corpos de prova é realizado em etapas, que são apresentadas na Figura 8, onde primeiro realiza-se a marcação do ponto de extração (Figura 8.a) e logo após faz-se os furos, com maquinário específico (Figura 8.b). A Figura 8.c mostra o furo após extração e a Figura 8.d mostra o corpo de prova em si.

Para a obtenção dos dados de resistência dos pilares, buscando analisar se o concreto alcançou a resistência necessária que foi designada no projeto, os corpos de prova extraídos foram submetidos ao ensaio de resistência, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018). A resistência à compressão deve ser obtida, dividindo-se a carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova, devendo o resultado ser expresso com aproximação de 0,1 MPa.

Figura 8 – Execução de furos de sondagem



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Próprios autores (2023)

3.2.2.2 Teste de Sondagem

Buscando conhecimento sobre o solo, foi solicitado a execução de dois furos de sondagem, os quais foram possíveis averiguar as características do terreno, sua resistência, os componentes do solo e nível do lençol freático. Pela sondagem o solo nesta profundidade tinha capacidade de absorver $3,00 \text{ kg/cm}^2$ e a tensão necessária era de $6,00 \text{ kg/cm}^2$. Logo a empresa Arrimo Projetos em Concreto Armado, Protendido e Consultoria (Rua Pasteur, Jardim Planalto,

Goiânia-GO), indicou no laudo concedido pela mesma a necessidade de execução de reforço nas fundações. Como mostrado no Anexo B.

Por meio do teste sondagem, apresentado no Anexo B deste trabalho, foi possível definir o tipo de solo através de suas respectivas profundidades no local que foi designado a perfuração, sua resistência e o nível do lençol freático. Podendo analisar que com 7 metros de profundidade o solo atingiu a resistência necessária com 33 golpes, constatando o nível de lençol freático a 4,90 metros de profundidade.

3.2.3 Direcionamento da Pesquisa

De forma a atender o objetivo proposto no presente trabalho, alguns dados foram coletados junto a empresa responsável pela recuperação do elemento estrutural. Tais dados são apresentados no Quadro 1 e visavam responder as perguntas apresentadas na segunda coluna, que são essenciais para a caracterização do problema.

Quadro 1 – Dados coletados para a pesquisa

Dados	Especificações
Características da edificação	- Quantos pavimentos a edificação terá após a sua finalização; - Como é a sua estrutura; - Os materiais utilizados para a fundação; - Idade da edificação.
Tipos de solos	-O tipo de maciço predominante na região da construção; -As principais características dos solos presentes; -Possíveis impactos que o solo pode gerar futuramente.
Características do sistema de construção	-Maquinário utilizado para a construção da fundação; -Número de trabalhadores envolvidos; -Período desde o início até a finalização da fundação da edificação.
Origem mais provável do recalque	-Qual a principal causa do recalque; -Motivo pelo qual ele aconteceu; -Nível de recalque apresentado.
Tipo de fundação	-Melhor tipo de fundação para a edificação; -O motivo da escolha da determinada fundação; -Processo de construção da fundação.
Região onde se encontra a edificação	-Localização; -Para qual uso terá a construção em seu estado finalizado.

Fonte: Próprios autores (2023)

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Apresentação dos Resultados dos Ensaios

Adicionalmente, com os resultados obtidos nos ensaios de corpo de prova, constatou-se que alguns elementos estruturais, apresentaram desempenho desejado ao previsto no projeto original. No entanto, ao considerar as alterações que foram implementadas no projeto e levando em consideração a inclusão de novos pavimentos, verificou-se então um aumento significativo nas cargas que seriam aplicadas às fundações.

Os ensaios apontavam que a resistência dos pilares era satisfatória para os parâmetros estabelecidos, validando a robustez da estrutura nessas condições específicas. Logo, a análise mais detalhada apontou que as fundações estariam sujeitas a tensões superiores às previstas no projeto inicial. Esse aumento de tensões está diretamente ligado às modificações introduzidas no projeto, bem como ao acréscimo de cargas provenientes da expansão vertical da edificação.

Outrossim, foi necessário realizar uma revisão minuciosa do projeto levando em consideração a parte estrutural, visando as novas demandas e os dados obtidos nos ensaios recentes dos corpos de prova. Este processo de revisão tornou-se crucial para garantir não apenas a segurança estrutural da edificação, mas também a durabilidade e eficiência da construção diante das novas condições identificadas durante a fase de ensaios do corpo de prova.

A NBR 5739 (ABNT 2018) (Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos) diz que para um resultado preciso nos ensaios os corpos de prova devem ser rompidos à compressão em uma dada idade especificada, com as tolerâncias de tempo descritas na Tabela 1 abaixo. No caso de corpos de prova moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT 2015), a idade deve ser contada a partir do momento da moldagem.

Tabela 1 – Tolerância para a idade de ensaio

Idade de ensaio	Tolerância Permitida (h)
24 horas	0,5
3 dias	2
7 dias	6
28 dias	24
63 dias	36
91 dias	48

Nota: Para outras idades, a tolerância deve ser obtida por interpolação

Fonte: Adaptado (NBR 5739, 2018)

A NBR 8522 (ABNT 2021) determina que a resistência à compressão obtida ao fim dos ensaios para obtenção do módulo de elasticidade não deve diferir em mais de 20% da resistência à compressão calculada previamente.

Levando em consideração o teste de sondagem realizado também como base de pesquisa para os resultados constatou-se que devido ao tipo de solo do local, pode-se perceber que com 6 metros de profundidade a fundação alcançaria o resultado necessário, sendo transmitido a carga resultante da superestrutura por meio de resistência de base. Com o prognóstico do solo, foi constatado a necessidade de reforço nas fundações, com isso foi possível obter uma solução adequada.

As interpretações dos resultados do ensaio acontecem em fases distintas. A primeira fase é realizada no campo, onde o responsável faz uma pré-análise tátil visual da amostra retirada do amostrador. Depois a análise é encaminhada ao laboratório onde o geólogo ou engenheiro geotécnico faz a discriminação correta e a caracterização geológica da amostra. Dessa forma, vai se traçando o perfil estratigráfico do solo de maneira empírica (RODRIGUEZ, 2013).

4.2 Fundação Existente na Edificação

As fundações do tipo sapata são amplamente utilizadas por ter como característica sua simplicidade e eficácia em muitas situações, tanto no processo construtivo quanto na conclusão da obra. A fundação existente na edificação, também definida como sapata, foi projetada como uma espécie de bloco de concreto armado tem como prioridade suportar a carga de uma coluna ou de um pilar específico da estrutura. O tipo de sapata também é chamado de "isolada" visto que ela é executada individualmente, em vez de compartilhar uma base contínua com outras colunas, como ocorre em fundações corridas por exemplo.

Mesmo com um processo construtivo adequado das sapatas em si, onde foi feito escavação de valas no solo para acomodação das mesmas e essas valas sendo cumpridas com concreto, formando os blocos, porém, executada com a profundidade inadequada, necessitaria

de um reforço na fundação, com o acréscimo de cargas verticais, passou a ser essencial esse reforço pois a capacidade das sapatas suportarem as cargas oriundas da edificação não apresentava mais valores satisfatórios.

Levando em consideração a NBR 6118 (ABNT 2023), as sapatas são estruturas de volume usadas para transmitir ao terreno as cargas de fundação, no caso de fundação direta. Segundo NBR 6122 (ABNT 2022) as sapatas devem ser calculadas considerando-se diagramas de tensão na base representativos e compatíveis com as características do terreno de apoio (solo ou rocha).

4.3 Solução para o Problema Observado

Como possíveis soluções para o problema foram apresentados dois métodos de reforços estruturais em fundações, que possibilitaria fortalecer a fundação existente, de modo que ela garantisse a funcionalidade e a estabilidade necessária para a edificação. Os métodos em questão são: estaca raiz e injeção de nata de cimento de alta pressão (*jet-grouting*). Onde foi analisado e estudado qual dos métodos seria mais vantajoso para a construção, observando o tipo de solo do local, o nível de lençol freático e os benefícios que a técnica causaria para o reforço.

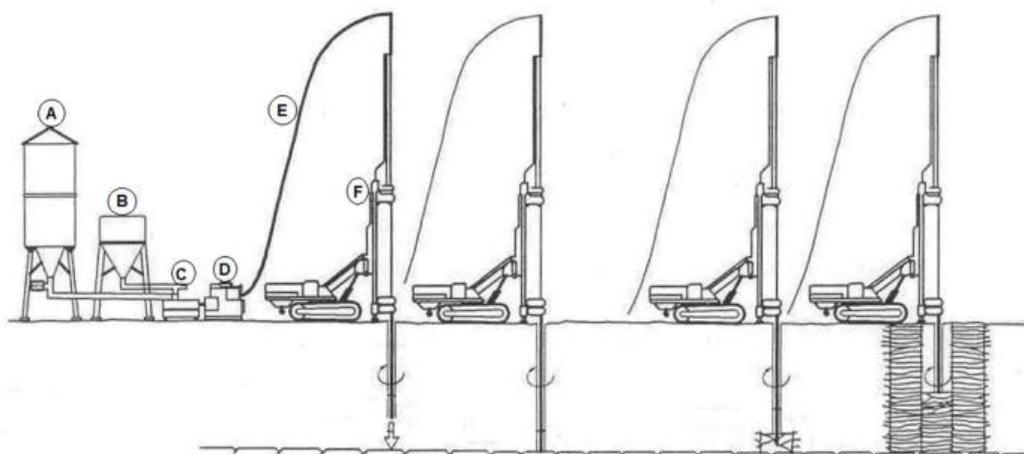
4.3.1 Injeção de nata de cimento sob alta pressão

Em relação as duas técnicas analisadas para a realização da prevenção do recalque o engenheiro optou por uma análise profunda do método injeção de nata, devido os resultados que apresentados pelos corpos de prova, pelo teste de sondagem juntamente com o estudo do projeto da fundação, sendo essa uma das opções mais viáveis para ser executada.

Segundo Ribeiro (2010), o procedimento é iniciado colocando a sonda em nivelamento, com o eixo da vara coincidente com o eixo da coluna. Seguindo da introdução da vara no terreno através de movimentos rotacional e com a ajuda de um jato de água vertical, sendo realizado esse processo até a profundidade desejada

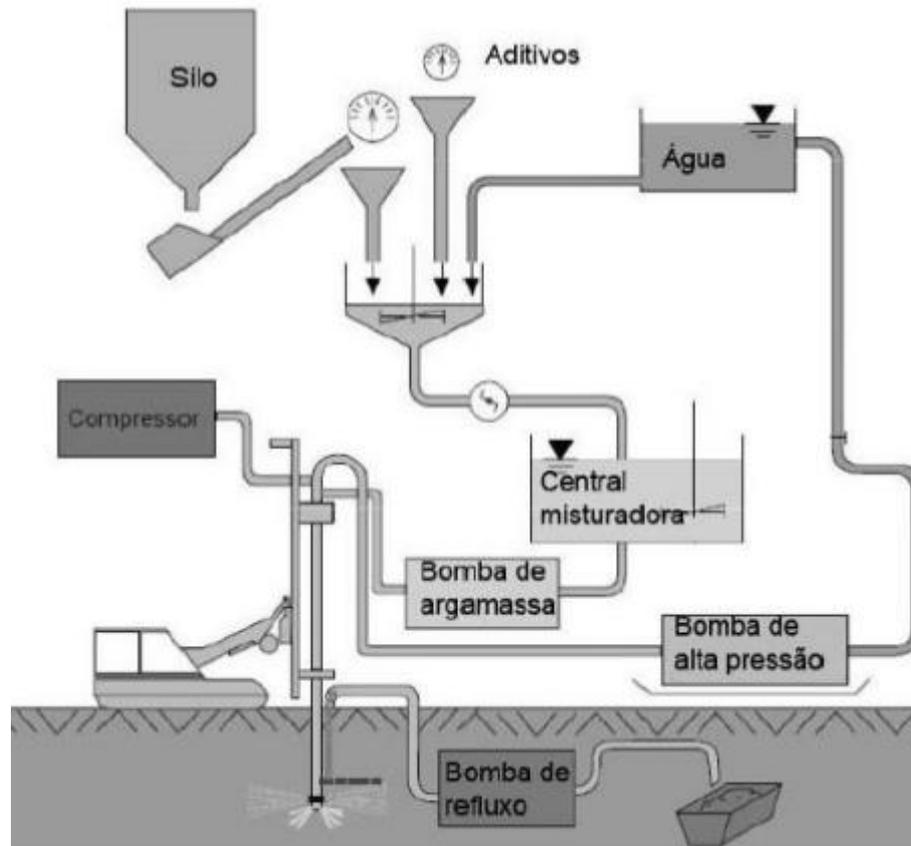
Existem três etapas fundamentais para a execução dessa técnica, o corte, a mistura do solo/cimento e a cimentação, e utilizados jatos de ar/água de alta pressão e velocidade para executar o corte, a mistura do solo com o cimento e realizado pela rotação da vara, causando uma aglutinação da calda e tornando o solo mais resistente, a cimentação e realizada quando a aglutinação ganha consistência (RODRIGUES 2009). Como é demonstrado na Figura 9.

Figura 9 - Processo *jet-grouting*



Para a realização do processo executivo das colunas de *jet-grouting*, é vital empregar diversos equipamentos que, quando operados em conjunto, compõem um sistema integrado. Na Figura 10 seguir, é possível observar cada um dos dispositivos fundamentais empregados no processo de construção desses elementos de solo-cimento.

Figura 10 - – Sistema de equipamentos de *jet-grouting*



Fonte: Pinto (2010)

Conforme afirma Neves (2010), a central de calda de cimento é composta basicamente por um silo de cimento e um reservatório de água, onde a central misturadora é composta por equipamentos responsáveis por garantir o consumo de cimento e a qualidade do fluido utilizado na fase de injeção. Neves (2010) ainda afirma que a bomba de injeção de alta pressão é responsável pela injeção de fluidos que deve possuir uma pressão mínima de 50 MPa. Devido à necessidade de bombear dois fluidos distintos, é imprescindível a utilização de uma bomba dedicada para cada um deles.

O compressor é o equipamento utilizado para os sistemas duplo e triplo de *jet-grouting*. Esse equipamento é responsável pela constante alimentação de ar, a elevada pressão, para esses dois tipos de sistemas de *jet-grouting*. O sistema de furação e injeção é composto por uma haste oca, de grande espessura, por onde passam os fluidos com elevada pressão (NEVES, 2010).

Na bomba de refluxo e depósito, o refluxo, que é um resíduo oriundo do processo de execução das colunas de *jet-grouting*, deve ser gerido assim como outros resíduos que são gerados em obra. Para realizar a gestão desse resíduo, é necessário a utilização de uma bomba que direcione o refluxo para um depósito, no qual ficará armazenado até ser destinado a um local adequado para o tratamento ou descarte (SANTOS, 2014).

Conforme os estudos sobre as maneiras de aplicação da técnica, o sistema de jato duplo (JET 2) difere do método simples, por utilizar ar comprimido ao mesmo tempo em que a calda

de cimento é pulverizada. A desintegração e a mistura são realizadas de maneira semelhante por injeção em alta velocidade, e o envolvimento de ar comprimido aumenta o alcance da injeção. Em contraste, o segundo método de *jet-grouting* é mais eficaz em solos coesos do que o sistema de jato simples.

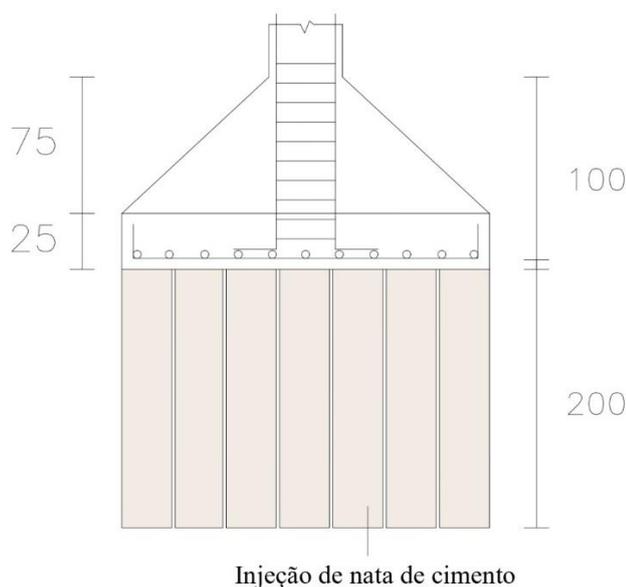
A presença do ar comprimido no sistema de jato duplo, conforme afirma Croce (et al. 2014), é responsável por aumentar a eficácia do sistema de *jet-grouting*. O ganho de eficácia ocorre devido a uma redução da perda de energia que, conseqüentemente, faz surgir colunas de solo-cimento com diâmetros maiores.

Levando em consideração os resultados obtidos, a injeção de nata de cimento de alta pressão (*jet-grouting*), se mostrou como a mais viável em todos os aspectos para a solução da fundação, devido a adição de pavimentos e mudanças no projeto arquitetônico realizado sem um prévio estudo da estrutura, devido ao acréscimo de carga. Com isso foi constatado que poderia ocorrer recalque na fundação, que seria prejudicial a estrutura.

Através do jateamento, o solo é desagregado, resultando na formação de uma mistura densa entre a pasta de cimento e o solo decomposto, convertendo o solo com baixas propriedades geotécnicas em um solo melhorado e tratado.

Falconi (et al., 2019) ressalta que o material não é necessariamente um método de injeção por si só, mas sim uma técnica hidrodinâmica onde ocorre a mistura do solo com a calda de cimento, fazendo-se assim um novo material. Essa técnica visa formar elementos até um certo ponto geométrico e estruturalmente sobre controle, ou seja, tem como objetivo a melhoria do terreno através de um simples preenchimento de espaços vazios, assim como pode ser visualmente especificado na Figura 11 a seguir.

Figura 11 – Execução do *jet grouting*



Fonte: Próprios autores (2023)

A escolha pelo método “*jet-grouting*” se consolidou devido a sua vantagem de não produzir vibrações no solo fazendo com que não ocorra abalo na estrutura já existente, e sua notória facilidade de utilização abaixo do lençol freático. Além disso, a utilização de injeção de nata de cimento de alta pressão possibilita em diversos tipos de solo e pode ser aplicada em locais de baixa resistência, possibilitando também a atingir diferentes tipos de geometrias.

Logo a aplicação do “*jet-grouting*” foi executada pelos benefícios para o reforço das fundações da edificação, sendo constatado de início que seria realizada 2 metros de

profundidade abaixo da fundação, entretanto, não conseguiu atingir a resistência necessária para resistir a edificação, sendo necessária a aplicação da injeção de nata de cimento até atingir a resistência, o sistema escolhido para realizar a execução foi o de jato duplo, pelo tipo de solo do local e benefícios que ele oferece.

O sistema de jato duplo, também denominado de JSG, se diferencia do sistema de jato simples, conforme afirmam Croce (*et al.*, 2014), devido a adição de mais um fluido para a execução dos corpos de solo-cimento, que é o jato de ar.

5 CONCLUSÃO

A realização do reforço da estrutura se deu pelo aumento de pavimento e mudanças no projeto estrutural, o que seria prejudicial na resistência da fundação. Para que houvesse a continuidade do processo construtivo, foi feito um processo de estudo e avaliação onde se verificou que a fundação se encontrava fora da profundidade ideal de seis metros e estava com quatro metros de profundidade. Logo concluiu-se que o solo que estava entre a metragem ideal e a metragem em que se encontrava a profundidade da fundação não conseguiria absorver as primeiras cargas provindas da edificação do projeto inicial, sendo assim, mesmo sem a ocorrência do acréscimo de pavimentos desejados a fundação não resistiria a carga da edificação.

Do mesmo modo foi executada o reforço da fundação para prevenir o acontecimento de recalque. O método descartado, apesar de também ser uma boa opção, seria a construção da estaca raiz através da perfuração das sapatas com sondagem rotativa para que fosse feito um bloco e fazer junção com pilar, devido ao seu alto custo de materiais e mão de obra o método foi superado pela segunda escolha. A injeção de nata de cimento de alta pressão que foi o método escolhido a ser executado, visou aumentar a capacidade do solo e resistir todas as cargas, melhorando a camada de dois metros entre o nível do fundo da sapata até o nível do solo mais resistente. Essa se apresentou como a melhor opção pelo seu tempo de execução e pela sua confiabilidade e vida útil.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. J de; GARCIA, J. R. **Engenharia de fundações** - 1. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2020.

ALONSO, U. R. **Exercício de fundações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

_____**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORAMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 6122**
- Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 2022.

_____**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORAMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 5739**
- Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 2018.

_____**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORAMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 5738**
- Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 2015.

_____**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORAMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 8522**
- Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 2021.

_____**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORAMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 6118**
- Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 2023.

AZEREDO, H.A. **O edifício até sua cobertura**. 2. ed. rev. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. p. 29-47.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1 e 2, 2015.

CARLETTO, Marcos Francisco Wosgrau. **Jet Grouting (Sistema Monofluido)**: Um método teórico simplificado para a previsão do diâmetro das colunas/M.F.W. Carletto São Paulo, 2009. 114 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CARRETO, J.R. Jet Grouting. **A Problemática do Dimensionamento e do Controlo de Qualidade**. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 1999 apud SOUSA, L. R. S. Aterros sobre solos moles reforçados com colunas de Jet Grouting e plataformas de transferência de carga em betão armado. Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Porto, Portugal, 2011.

CROCE, Paolo; FLORA, Alessandro; MODONI, Giuseppe - Jet Grouting: technology, design and control. 1.

ed. New York: CRC Press, 2014. ISBN 9781138076273. GONZALES, F. D., OLIVEIRA, D. L., AMARANTE, M. dos S. **Patologias Na Construção Civil**. Revista Pesquisa E Ação, 6(1), 128-139. (2020). Recuperado de <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/view/910>.

JOPPERT, JR. I. **Fundações e Contensões de Edifícios** – São Paulo: Pini ISBN 978-85-7266-177-5, 2007. 221p.

KOSHIMA, Akira. Tratamento de Solo. In: FACOLCONI, Frederico; CORRÊA, Celso N.; ORLANDO, Celso et al. (Ed.). **Fundações**: teoria e prática. 3 ed. São Paulo: Pini, 2016. p.692.

LEAL, Ubiratan. **Fundações Rasas**. Técnica, São Paulo, ed. 83, 2004. Disponível em: <<http://techn17.pini.com.br/engenharia-civil/83/artigo287301-1.aspx>>. Acesso em: 25/04/2023.

LUEVANOS-ROJAS, Arnulfo. Design of boundary combined footings of rectangular shape using a new model. Dyna rev.fac.nac.minas, Medellín , v. 81, n. 188, p. 199-208, Dec. 2014 . Available from. Acesso em: 18/05/2023. DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n188.41800>.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N.; SCHNAID, F. **Patologia das Fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

NEVES, Manuel João Niza das - **Técnicas de recalçamento e reforço de fundações: metodologias, dimensionamento e verificações de segurança**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

PACHECO, T. M. **Análise comparativa de custos entre o radier e fundações em sapata corrida utilizadas em obras de padrão popular de quatro pavimentos no município de feira de Santana, Bahia**. 2010. 91 p. Monografia – Departamento de tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2010.

PINTO, Carlos de Sousa - Curso básico de mecânica dos solos. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

PORTO, Thomás Monteiro Sobrino. **Estudo dos Avanços da Tecnologia de Impressão 3d e da sua Aplicação na Construção Civil**. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2016. Disponível em: <https://www.arataumodular.com/app/wp-content/uploads/2022/07/Estudo-dos-Avancos-da-Tecnologia-de-Impressao-3d-e-da-Sua-Aplicacao-na-Construcao-Civil.pdf> Acesso em: 05 Dez 2023.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. 4. ed. São Paulo: Ziguarte, 2008.

RIBEIRO, M. A. A. **Análise Comparativa de Métodos Utilizados no Cálculo da Interação Solo-Radier**. 2010. 101 f., Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

RODRIGUES, Daniel Filipe Neves. Jet Grouting - **Controlo de Qualidade em Terrenos do Miocénico de Lisboa**. 2009. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica - Geotecnia). Universidade Nova de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa, 2009.

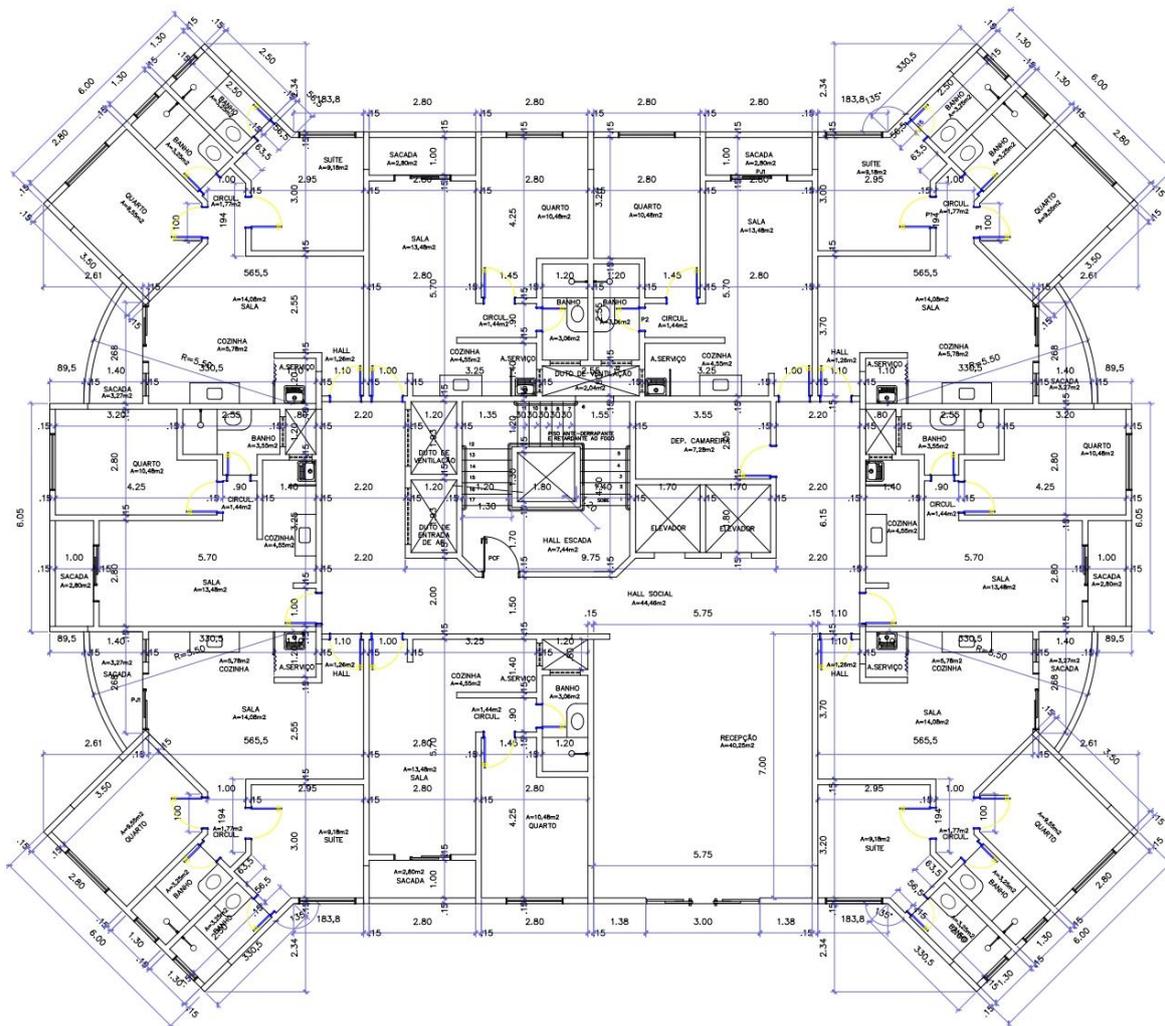
SANTOS, Cláudia Sofia Neves dos - Reforço de fundações em solos margosos. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2014. Dissertação de mestrado. Disponível em: Acesso em 18 dez. 2023.

SILVA, D. P. **Análise de diferentes metodologias executivas de solo pregado a partir de ensaios de arrancamento realizados em campo e laboratório**. 2009, 348 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 2009.

VALENTE, Ana Paula Veloso Valente (et al) **Análise Dos Processos De Recuperação de Patologias: Trincas e Impermeabilização** Equipe. Ana Paula Veloso Valente; Adriano de Paula e Silva; José Márcio Fonseca Calixto. Construindo, Belo Horizonte, v .1, n.2, p.7-11, jul./dez. 2009.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações: Critérios de Projeto, Investigação do Subsolo, Fundações Superficiais, Fundações Profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 568 p. v.

ANEXO A – PLANTA BAIXA DA EDIFICAÇÃO



Fonte: Próprios autores (2023)

ANEXO B - RESULTADO DA SONDAGEM

Relatório de Sondagem SP01

sondagem nº SP 01

Nível do L.Freatico	Profund.	PENETRAÇÃO: SPT - N Golpes/30cm					Amostra	COTA DO FURO: -0.26m		
		----- 1ª + 2ª Penetrações						LIMITE DA SONDAGEM: 10.26m		
		----- 2ª + 3ª Penetrações						NÍVEL D'ÁGUA INICIAL: Furo fechado aos 4.90m		
Nº DE GOLPES		GRAFICO					DATA DA SONDAGEM: 10/10/2017	CLASSIFICAÇÃO		
1ª+2ª		2ª+3ª		10	20	30	40	50		
	-1,00	Avanço							00	SILTE arenoso, micáceo, com pedregulhos finos de QUARTZO, MARROM.
	-2,00	21	26						01	Pedregulhos diversos.
	-3,00	6	7						02	SILTE arenoso, micáceo, pouco compacto, ROXO variegado.
	-4,00	12	15						03	Idem; medianamento compacto.
	-5,00	13	16						04	
	-6,00	16	20						05	Idem; com pedregulhos finos diversos, compacto.
	-7,00	18	22						06	
	-8,00	25	33						07	
	-9,00	30	37/27						08	Idem; muito compacto.
	-10,00	34	39/22						09	
	-11,00	38/11	20/11						10	
	-12,00								11	
	-13,00								12	Nota 1: O nível d'água poderá variar conforme a data da sua leitura.
	-14,00								13	Nota 2: Furo fechado aos 4,90m. Presença de solo arenoso.
	-15,00								14	
	-16,00								15	
	-17,00								16	
	-18,00								17	
	-19,00								18	
	-20,00								19	

Cliete: CONDOMÍNIO RESIDENCIAL AMETHYST TOWER					
Obra: AMPLIAÇÃO					
Local: RUA EÇA DE QUEIROZ C/ AV. ORCALINO, CENTRO, CALDAS NOVAS - GO					
data: 16/10/2017	ref.: SPGO	obra: 2666/17	des.: 11775/17	respons.:	

Fonte: Solo Base (2023)