



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ARTHUR VÍCTOR VALE DE ARAÚJO

**ANÁLISE DE ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO EM TIRANTES EXECUTADOS EM
SOLO ARENOSO DE NATAL - RN**

ANGICOS

2022

ARTHUR VÍCTOR VALE DE ARAÚJO

**ANÁLISE DE ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO EM TIRANTES EXECUTADOS EM
SOLO ARENOSO DE NATAL - RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Gomes Dantas de
Araújo

ANGICOS

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

V658a Vale de Araújo, Arthur Victor.
ANÁLISE DE ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO EM TIRANTES
EXECUTADOS EM SOLO ARENOSO DE NATAL - RN / Arthur
Victor Vale de Araújo. - 2022.
41 f. : il.

Orientador: Arthur Gomes Dantas de Araújo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2022.

1. Deslocamento livre efetivo. . 2. Perda de
carga por atrito. . 3. Estrutura de contenção.. I.
Dantas de Araújo, Arthur Gomes , orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ARTHUR VÍCTOR VALE DE ARAÚJO

**ANÁLISE DE ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO EM TIRANTES EXECUTADOS EM
SOLO ARENOSO DE NATAL - RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 15 / 06 / 2022.

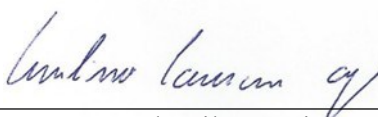
BANCA EXAMINADORA



Arthur Gomes Dantas de Araújo, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Kleber Cavalcanti Cabral, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Avelino Lourenço da Silva Júnior, Engenheiro
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me abençoar e me dar forças para alcançar meus objetivos. Agradeço também aos meus pais Advanildo Araújo e Jozeneide Vale por todo o apoio e incentivo, por sempre está comigo nos momentos mais difíceis e por nunca deixarem faltar nada em minha vida.

Não poderia esquecer de agradecer a minha avó Maria Zélia Vale, que hoje não está mais entre nós, mas sempre estará andando comigo, nesse momento posso dizer que estou dando orgulho a senhora por ser o seu primeiro neto a se formar, durante anos passei por maus bocados aqui, mas foi para que um dia pudesse lhe orgulhar.

Ao incentivo da minha irmã Ana Beatriz Vale, que me ajudou bastante nesses anos de batalha, sempre houve uma preocupação um com o outro, em momentos que quase ninguém me entendia ela sempre buscava me ajudar.

A minha namorada Patrícia Faria, por toda a força e energias positivas passadas para mim nos momentos mais difíceis.

Ao apoio dos meus amigos da PIHouse, que ao longo dessa graduação dividiram muitos momentos bons comigo e sempre me apoiaram. A galera da CemeteryHouse, que dividiram o teto comigo desde o começo do curso. Vou lembrar-me de todas as brincadeiras e resenhas que tivemos. Vocês todos são amigos que a UFERSA me deu e que quero continuar assim para o resto da vida.

Sou grato também por todos os outros amigos que fiz ao longo da graduação, amigos que levarei para sempre comigo.

A meu orientador Prof^o. Dr. Arthur Gomes Dantas de Araújo, por todo incentivo para que eu pudesse desenvolver a elaboração deste trabalho, também pela sua calma e compreensão em relação aos prazos e, o mais importante, que foi a passagem de conhecimento, toda a orientação e assistência para comigo.

À banca examinadora, pela disponibilidade e tempo para avaliar este trabalho.

“Mais são as pessoas que desistem, do que as que fracassam. Pra fracassar é preciso tentar até o final. É possível”.

L7nnon

RESUMO

Com o passar dos anos a construção civil cresceu bastante e, como consequência, a procura por aproveitar o máximo do terreno passou a ser um dos principais problemas a se enfrentar, como por exemplo a execução de subsolos para estacionamentos ou até mesmo outro tipo de edificação. Mas, para que isso possa acontecer, precisa-se realizar uma contenção no maciço de solo do terreno. Uma das alternativas viáveis é a utilização de tirantes como estrutura de contenção. Este trabalho apresenta a análise do comportamento dos tirantes executados em solo arenoso de Natal/RN, levando em consideração o comportamento dos tirantes e se os mesmos estão trabalhando com segurança. Todos os critérios adotados foram os que a norma NBR 5629:2018 da ABNT rege. Após a análise das características relevantes dos tirantes, como o deslocamento total, perda de carga por atrito, comprimento livre efetivo e seu comportamento, notou-se que o tirante 03 apresentou um comportamento inesperado em relação ao seu deslocamento total, entretanto, não afetou o desempenho final dos tirantes, sendo estes aprovados.

Palavras-chave: Deslocamento livre efetivo. Perda de carga por atrito. Estrutura de contenção.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Equipamentos para execução de sondagem a percussão	15
Figura 2 - Esquema de tirante.....	18
Figura 3 - Tirante monobarra.....	20
Figura 4 - Tirante de múltiplas barras	21
Figura 5 - Tirantes de fios.....	21
Figura 6 - Tirante de cordoalhas.....	22
Figura 7 - Localização do terreno.....	24
Figura 8 - Planta de locação dos furos da sondagem.....	25
Figura 9 - Execução do ensaio de sondagem do primeiro furo.	26
Figura 10 - Execução do ensaio de sondagem do segundo furo.....	27
Figura 11 - Execução do ensaio de sondagem do terceiro furo.....	28
Figura 12 - Montagem do ensaio de qualificação.....	29
Figura 13 - Locação dos tirantes estudados.....	31
Figura 14 - Modelo de tirante executado.....	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Carga versus deslocamento total T01	33
Gráfico 2 - Carga <i>versus</i> deslocamento elástico e permanente T01	34
Gráfico 3 - Carga <i>versus</i> deslocamento total T02	34
Gráfico 4 - Carga <i>versus</i> deslocamento elástico e permanente T02	35
Gráfico 5 - Carga <i>versus</i> deslocamento total T03	35
Gráfico 6 - Carga <i>versus</i> deslocamento elástico e permanente T03	36
Gráfico 7 - Comparação do deslocamento máximo.	37
Gráfico 8 - Comparação do comprimento livre efetivo.	38
Gráfico 9 - Perda de carga por atrito.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perfil de sondagem SP01	26
Tabela 2 - Perfil de sondagem SP02	27
Tabela 3 - Perfil de sondagem SP03	28
Tabela 4 - Cargas utilizadas no ensaio.	30
Tabela 5 - Detalhamento da geometria dos tirantes	31
Tabela 6 - Tabela de resultados dos ensaios	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

De – Deslocamento elástico

Dp – Deslocamento permanente

F0 – Carga inicial

Fi – Carga de incorporação

Flim – Carga máxima

Ft - Carga de trabalho

KN - Quilonewton

Lle – Comprimento livre efetivo

NBR - Norma Brasileira

Pa – Perda de carga por atrito

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo Geral	12
2.2. Objetivos Específicos	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1. Ação de carregamentos sob o solo	13
3.2. Sondagem SPT	14
3.3. Estruturas de Contenção	15
3.4. Tirantes	17
4. METODOLOGIA	24
4.1. Local da obra	24
4.2. Ensaio de sondagem (SPT).....	24
4.3. Ensaio de qualificação	29
5. RESULTADOS	33
5.1. Resultados Ensaio de Qualificação.....	33
5.2. Comparação de resultados	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

Os serviços de engenharia, nos dias de hoje, têm uma demanda crescente, e isto se dá pelo interesse em aproveitar ao máximo o espaço dos terrenos que possuem. Para que se tenha um bom aproveitamento, segurança é um critério valioso, pois um projeto bem elaborado e seguro evita gastos desnecessários ou prejuízos futuros. A partir desta necessidade, foram desenvolvidas técnicas de contenção do solo.

Segundo HACHICH; et al (1996) estas técnicas proporcionam um melhor suporte para a fundação de edifícios, bem como aumentam a estabilidade do solo. Uma das estratégias utilizadas são os tirantes, para auxiliar na contenção do solo. Os tirantes já vêm sendo utilizados no Brasil há décadas, mas sua utilização se tornou mais popular após o desastre natural que ocorreu no Rio de Janeiro entre os anos de 1966 e 1967, no qual fortes chuvas ocasionaram numerosos deslizamentos de terra, demolindo residências e edifícios. Portanto, a solução adotada posteriormente foi a criação de taludes com tirantes, para garantir uma maior estabilidade para o maciço de terra que buscavam ancorar.

Os tirantes são elementos resistentes à tração, estes são introduzidos no solo através de perfuração e logo em seguida é injetado uma calda de cimento ou outro material aglutinante, formando assim um bulbo de ancoragem. O tirante é constituído pelo bulbo de ancoragem, trecho livre, trecho ancorado e cabeça de ancoragem. (GEOSONDA S.A, 2020)

A execução de tirantes é regida pela norma NBR 5629 (ABNT, 2018), e nesta se encontram todos os procedimentos a serem seguidos, como o projeto do tirante, cálculo dos esforços, materiais a serem utilizados, execução, instalação, injeção, registros de dados, ensaios a serem feitos para garantir a aprovação dos tirantes, incorporação de carga e serviços que devem ser feitos se o tirante for permanente, para garantir um bom funcionamento.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

- Analisar resultados do ensaio de qualificação em tirantes de uma obra localizada na cidade de Natal – RN.

2.2. Objetivos Específicos

- Analisar os resultados do ensaio de qualificação;
- Verificar o comportamento dos tirantes;
- Verificar se os tirantes estão trabalhando de forma segura;
- Sugerir melhorias, caso seja avaliado como necessário.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Ação de carregamentos sob o solo

Em obras de contenção, ou até obras de escavação, são encontrados os mesmos carregamentos atuantes no solo. O carregamento final na estrutura é, em geral, um conjunto de parcelas de forças, sendo elas: o empuxo de terra, empuxo oriundo de sobrecargas externas e o empuxo devido a água (YASSUDA E DIAS, 1998).

O empuxo de terra se caracteriza por ser uma ação horizontal produzida pelo maciço de solo sobre as estruturas que estão em contato com o mesmo. Em termos mais específicos, o empuxo de terra é a resultante da distribuição das tensões horizontais que atuam em uma estrutura de contenção.

É de grande importância descobrir a amplitude do empuxo de terra para a execução do projeto de estrutura de contenção. Deve-se observar o valor da resultante do empuxo, como também a distribuição das tensões horizontais ao longo da estrutura de contenção, visto que esses pontos dependem de como irá ocorrer o processo de interação solo – estrutura ao longo da obra. O empuxo que atua sobre a estrutura provoca deslocamento horizontais, esse deslocamento por sua vez altera o valor e a distribuição do empuxo ao longo da construção da obra. (GERSCOVICH et al., 2016)

Com o surgimento de água no subsolo, deve-se levar em consideração os condicionantes hidrogeológicos da região, a permeabilidade das camadas de solo e da parede de contenção. É importante considerar que a influência da água em relação ao empuxo se dá através da determinação das pressões neutras não somente na parede da estrutura de contenção, como também na superfície potencial de ruptura (REFFATI, 2002).

Em qualquer que seja o tipo de obra, seja ela provisória ou permanente, é necessária a consideração das sobrecargas externas no cálculo das paredes de contenção, como por exemplo: edifícios próximos, depósitos de matérias próximos a estrutura, maquinário utilizado para obra e até mesmo o peso dos funcionários. No caso de obras provisórias é importante considerar as sobrecargas especiais de equipamentos e veículos que são utilizados para a construção da estrutura de contenção (YASSUDA E DIAS, 1998).

3.2. Sondagem SPT

A realização da sondagem à percussão associada ao ensaio (SPT) é bastante utilizada, visto que apresenta uma fácil execução e o baixo custo na operação. Apesar desses fatos o ensaio é bastante importante, já que apresenta resultados úteis para a execução de uma obra com segurança. Com o ensaio SPT é possível determinar o tipo de solo encontrado e sua respectiva profundidade, o nível da água e também o índice de resistência do solo.

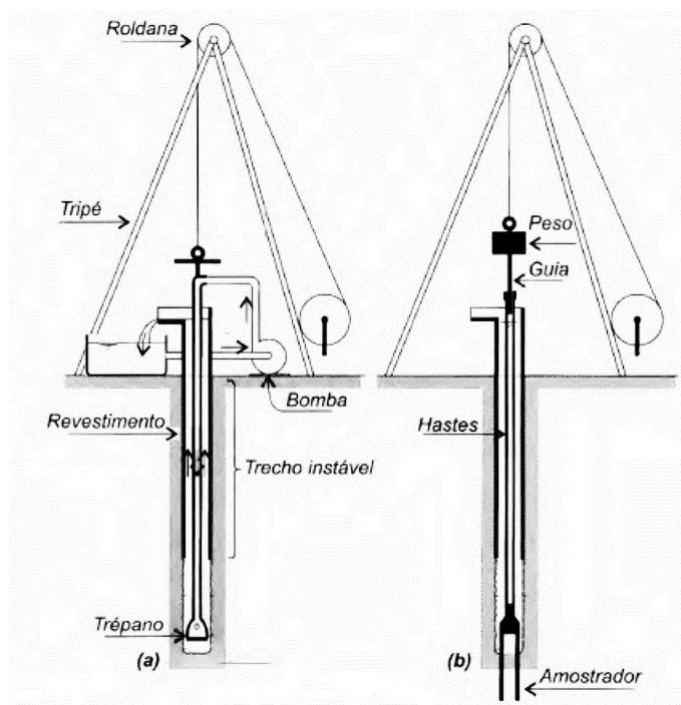
O ensaio é regido pela NBR 6484 (ABNT, 2001), esta norma regulamenta o ensaio, especifica quais equipamento utilizados e quais são os procedimentos necessários. Para iniciar o ensaio, é preciso inicialmente especificar o local, a quantidade de furos e a profundidade para a sondagem, mas para isso tem que seguir a NBR 8036 (ABNT, 1983), pois a mesma aborda as condições exigíveis na programação das sondagens de simples reconhecimento dos solos, destinados à elaboração de projetos geotécnicos para construção de edifícios (ABBAS, 2018).

O ensaio de sondagem SPT se inicia com a utilização de uma cavadeira manual até a profundidade de 1 metro, seguindo-se a instalação até essa profundidade do primeiro segmento do tubo de revestimento dotado de sapata cortante. Logo após a perfuração, deve ser utilizado trado helicoidal até atingir o nível do lençol freático, mas essa ação só é permitida quando o mesmo não seja cravado dinamicamente com golpes do martelo ou por impulsão da composição de perfuração.

Portanto, quando a perfuração através do trado helicoidal obter um avanço inferior a 5 centímetros após 10 minutos de operação, ou em casos em que o solo é não aderente ao trato, passa a ser utilizado o método de perfuração através de circulação de água. Esta parte da perfuração é realizada utilizando o trépano de lavagem como ferramenta de escavação. O processo consiste na elevação da composição de perfuração em cerca de 30 centímetros do fundo do furo e na sua queda, à medida que se aproxima da cota do ensaio e amostragem é recomendado que a altura seja diminuída progressivamente. Ao se atingir a cota de ensaio e amostragem a composição de perfuração deve ser suspensa a uma altura de 20 centímetros do fundo do furo, com a circulação de água é removido todos os detritos oriundos da perfuração do interior do furo.

Durante a operação, devem ser anotadas as profundidades das camadas de transição de solos detectadas por exame tátil-visual e da mudança de coloração dos materiais trazidos à boca do furo. A seguir na figura 1 pode-se ver um exemplo de equipamento utilizado para a execução de sondagem a percussão.

Figura 1 - Equipamentos para execução de sondagem a percussão



Fonte: Velloso; Lopes (2010)

3.3. Estruturas de Contenção

Hodiernamente, em muitas construções, se faz necessário o uso de contenção de solo, alguns exemplos no qual os utilizam são projetos de estradas, pontes, estabilização de encostas, canalizações, escavação de subsolo, cortes ou aterros para a criação de plataformas, entre outros (RANZINI & NEGRO JR, 1998).

Segundo SAES, STUCCHI & MILITTISKY (1998), para a escolha da estrutura de contenção deve-se levar em consideração alguns requisitos, os provisórios e permanentes. Esses são subdivididos em funcionais, construtivos, de segurança, econômico e estético, sendo o último mencionado incorporado na fase permanente. As estruturas têm por objetivo suportar os empuxos exercidos pelo terreno, para que assim garanta sua estabilidade, mas só esse objetivo não garante que a estrutura esteja desempenhando seu papel, com isso, permitindo a escavação.

O desempenho da estrutura de contenção não depende só de si, mas também das características do terreno, das interferências das construções vizinhas, da condição do lençol freático e como também do espaço suficiente para sua implantação. Logo, levando em

consideração todos esses fatores, não pode -se apontar as vantagens e desvantagens de cada tipo de estrutura de contenção sem levar em consideração os estudos provisórios, assim como não é possível caracterizar um tipo de estrutura levando em consideração o seu custo direto. (SAES, STUCCHI & MILITTISKY, 1998).

Serão analisados os tipos de escoramentos e paramentos de uma contenção, levando em consideração os aspectos principais da sua utilização. As formas de escoramentos de uma estrutura de contenção podem ser estroncas, tirantes, bermas, pela própria estrutura definitiva ou por uma combinação dos tipos mencionados.

As estroncas são utilizadas, na maioria das vezes, quando há uma limitação em que a distância entre paramentos não é muito grande (menor que -12m), não utilizar os terrenos adjacentes à contenção e são reutilizáveis. Em muitos casos, dependendo da distância entre os paramentos, pode ser necessária a execução de contraventamentos e apoios intermediários para sustentar o peso próprio do escoramento. Os estroncamentos geralmente dificultam as escavações entre os paramentos e interferem com a execução da estrutura final (SAES, STUCCHI & MILITTISKY, 1998).

Já os tirantes, em alguns casos, são o único sistema de escoramento que pode ser executado, como por exemplo em muitos casos de contenção de encostas. Não atrapalham a escavação, visto que não ocupam espaços entre os paramentos. Os mesmos podem ser provisórios ou definitivos.

As bermas são contenções de pequena altura, que podem chegar até 6 metros de altura, e são utilizadas como único tipo de escoramento quando o tipo de solo apresenta boas características de resistência. Esta necessita de proteção contra erosão, normalmente ela interfere na execução da estrutura de contenção definitiva, e sua remoção é quase feita em condições adversas de escavação (SAES, STUCCHI & MILITTISKY, 1998).

O uso da estrutura definitiva como escoramento só é plausível quando as escavações são profundas e não foi permitido o uso de tirantes como escoramento, visto que é necessário liberação dos vizinhos para utilização desse tipo de escoramento.

Para o projeto de uma estrutura de contenção, a escolha do escoramento é muito mais simples de que a escolha do paramento a ser utilizado, visto que as opções são poucas, e os fatores que influenciam a escolha são geralmente independentes do tipo de solo, das características do nível do lençol freático, do espaço disponível, etc. Às vezes, depende de outros fatores, que não são técnicos ou econômicos, como quando a obra de escavação necessita da estrutura de contenção, e a mais adequada é a utilização de tirantes, mas os vizinhos não

permitem a instalação dos mesmos no seu terreno. Portanto essa solução está descartada devido uma circunstância legal, mesmo ela sendo a solução mais adequada e econômica para a estrutura de contenção.

Já a escolha do parâmetro, permite um número maior de alternativas para a escolha, e o desempenho destas dependem das características do subsolo, das condições do nível da água, do espaço disponível para sua implantação e das condições das construções vizinhas, tornando assim o processo de escolha mais complexo (SAES, STUCCHI & MILITTISKY, 1998).

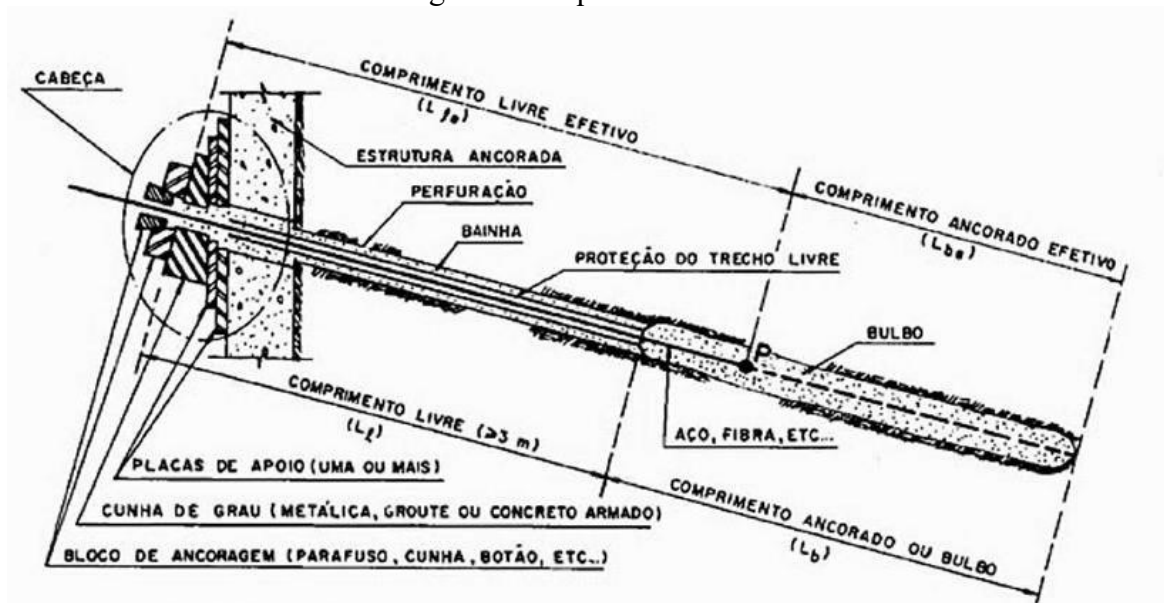
3.4. Tirantes

Com o crescimento populacional, as grandes cidades tiveram que se reinventar em relação a construção de prédios comerciais e também residenciais, levando em consideração o maior aproveitamento do terreno. Um exemplo a ser citado desta afirmação, é a utilização do subsolo como área edificada. Mas, para que isso possa acontecer, tem-se que ancorar parte do solo para que possa acontecer as escavações, e o método indicado para a contenção é o de combate a empuxo de terra (OLIVEIRA 2018).

Segundo HACHICH; *et al* (1996) este é, atualmente, o modelo mais utilizado no mercado, devido suas soluções apresentadas em relação a outros modelos. Este apresenta algumas vantagens que podem ser mencionadas, como a obtenção de reação dentro do próprio maciço a ser contido; possibilidade de ultrapassar qualquer obstáculo durante a perfuração; podem ser instalados e protendidos na estrutura de contenção, à medida que a escavação vai sendo executada; para execução da estrutura atirantada não são executadas escavações além das necessárias para compor a geometria da fase; a aplicação de protensão prévia nos tirantes minimiza as deformações do terreno contido e quando os tirantes são totalmente enterrados não apresentam obstáculos.

Os tirantes são elementos resistentes à tração, estes são introduzidos no solo através de perfuração e logo em seguida é injetado uma calda de cimento ou outro material aglutinante, formando assim um bulbo de ancoragem. O tirante é constituído pelo bulbo de ancoragem ou trecho ancorado, trecho livre e cabeça de ancoragem, na figura 2 pode-se ver a composição do tirante. A cabeça é a região do tirante que suporta a estrutura, e existem vários tipos de configurações dependendo do modelo do tirante (GEOSONDA S.A 2020).

Figura 2 - Esquema de tirante



Fonte: Yassuda e Vieira Dias, 1998

A cabeça pode ser dividida em componentes, sendo estes: placa de apoio, cunha de grau e bloco de ancoragem. A função da placa de apoio é distribuir as tensões sobre a estrutura, e esta geralmente é constituída por uma ou mais chapas metálicas. Então, se a estrutura for de concreto, a chapa deve ter um tamanho que proporcione as mesmas tensões de compressão aceitáveis, condicionando o cálculo de punção.

A cunha de grau tem a função de permitir o alinhamento adequado entre o eixo do tirante com relação a cabeça. O material utilizado no tirante em geral apresenta uma alta resistência à tração, porém apresenta resistência limitada à flexão. Sendo assim, é adequado que o bloco de ancoragem no qual o aço é preso fique com uma angulação aproximada de 90 graus com relação ao eixo longitudinal do aço. Na realidade, a cunha é um prisma cujos planos de base e de topo não são paralelos (YASSUDA E VIEIRA DIAS, 1998).

Há vários formatos de cunha, sendo o mais utilizado o composto por um cilindro de aço ou chapa paralelas de aço, embora menos frequentes, mas também utilizados pode -se apresentar prismas de groute ou de concreto armado, pré-moldado ou moldado in loco.

Bloco de ancoragem é o conjunto de peças que prendem o tirante a cabeça, e se encontram três tipos de sistemas de bloco de ancoragem: as porcas, as cunhas e os botões. O sistema de porca é frequentemente utilizado quando os tirantes são de barras com roscas, para

a desse sistema com a cabeça só precisa ser utilizado uma porca e uma contraporca. Já o sistema de cunhas é utilizado em tirantes com múltiplos fios ou cordoalhas. O sistema de botões é utilizado como uma alternativa para prender fios junto à cabeça do tirante, mas para que isso aconteça é necessário prensar as pontas de cada fio, formando um bulbo com diâmetro maior que o do fio.

O trecho livre é a parte do tirante que o aço se encontra isolado da calda de injeção. Para que isso ocorra bem e o tirante seja aprovado nos ensaios, é importante atentar para algumas prevenções. Na montagem dos tirantes, inicialmente o trecho livre deve ser protegido para não entrar em contato com a calda e assim futuramente chegue a gerar atrito ou até mesmo oxidar, logo, as soluções encontradas são revestir por tubos plásticos, engraxar ou até mesmo utilizar tintas à base de resina epóxi. Na transição entre trecho livre e o trecho ancorado, é utilizado uma massa plástica para vedar, não permitindo o contato entre calda de cimento com o tirante (YASSUDA E VIEIRA DIAS, 1998).

O trecho ancorado, por sua vez, tem a função de transmitir os esforços do tirante para o terreno, essa ancoragem é formada por um material aglutinante que envolve o restante do comprimento do tirante. Existem dois tipos de trecho de ancoragem, os que trabalham a compressão e os que trabalham a tração. Nos que trabalham a compressão a transferência de cargas do tirante para o aglutinante ocorre da extremidade mais profunda em direção ao trecho livre, já no segundo caso acontece do fim do trecho livre em direção a extremidade mais profunda.

A utilização de tirante em uma estrutura de contenção pode trazer benefícios, além da simplicidade construtiva, pode -se observar que tirantes podem obter elevadas cargas com peças de pequeno porte. Portanto, essa característica pode ser útil quando é preciso fazer provas de cargas de alta capacidade, já que permite que apenas alguns tirantes sejam ensaiados.

Quando utilizado para suporte de escoramento, existe limitação na carga imposta pela espessura da estrutura. Neste caso, o aumento do vão entre tirantes irá acarretar o aumento de sua carga, mas o momento fletor aumenta proporcionalmente ao quadrado do mesmo vão, o que acaba limitando o aumento indiscriminado da carga. Em perfurações longas, a tendência é de apresentar algum desvio e consequentemente o risco de atrito entre tirante e solo. Por conseguinte, de acordo com a norma tirantes, muitos longos podem apresentar risco de superar os limites de atrito (YASSUDA E VIEIRA DIAS, 1998).

Os tirantes podem apresentar vários tipos, porém para ajudar na assimilação, eles foram agrupados levando em consideração sua vida útil, sua forma de trabalho e sua constituição.

Levando em consideração a vida útil, os tirantes podem ser divididos em dois grupos, os tirantes provisórios e os tirantes permanentes. Os tirantes permanentes são aqueles que são utilizados em obras com duração superior a dois anos, já os tirantes provisórios são aqueles utilizados em obras com duração de até 2 anos. Este tipo de classificação é importante visto que a norma que rege tirantes fixa coeficientes de segurança, proteção anticorrosiva e precauções construtivas para cada grupo.

Com relação a forma de trabalho, o tirante pode ser classificado com ativo ou passivo. O tirante ativo é aquele que trabalha sob carga, sendo mais preciso, o tirante sempre irá operar em carga, independentemente do nível de deformação do solo e da estrutura no qual o mesmo está ligado. Portanto o tirante ativo é protendido desde o início de seu trabalho. O tirante passivo não trabalha sob carga no início de sua operação, portanto o mesmo não é protendido.

A carga que atua sob esse tipo de tirante só é exercida quando o solo ou a estrutura no qual ele está ligado induz esforços. Neste caso o tirante começa a trabalhar quando o solo ou a estrutura solicitar, fazendo que o mesmo acabe reagindo aos esforços produzidos. Na prática, dificilmente veremos um tirante deixar de ser protendido, de modo que raramente poderá ser encontrado um tirante trabalhando passivamente (YASSUDA E VIEIRA DIAS, 1998).

Em relação a constituição, os tirantes mais utilizados frequentemente na prática apresentam seu principal elemento resistente à tração, constituído por uma ou mais barras de aço, por vários fios, por várias cordoalhas e, o menos usual, que é os tirantes de material sintéticos.

O tirante monobarra (Figura 3) utiliza uma barra única como elemento principal do tirante, esse método era bastante utilizado na década de 60 e início da década de 70, os tirantes eram constituídos por uma única barra de aço CA-50A ou CA-60^a, elas apresentavam uma tensão de escoamento de 500MPa ou 600Mpa, com diâmetros entre ¾” e 1.1/4”. Com o avanço das construções, passou a ser preciso a utilização de tirantes com maior capacidade de carga, necessitando de aços mais resistentes. Como efeito, surgiram no mercado barras de aço especial, apresentando tensão de escoamento de 850Mpa e diâmetros de 19 a 32mm.

Figura 3 - Tirante monobarra



Fonte: www.incotep.com.br

O tirante de múltiplas barras (Figura 4) é o que apresenta mais de uma barra como elemento principal, este modelo de tirante é pouco utilizado. Sua concepção é parecida com a de um tirante de múltiplos fios ou cordoalhas, mas sua diferença principal em relação com os tirantes de fio ou cordoalhas está no bloco de ancoragem, que no sistema de tirante de múltiplas barras requer um bloco auxiliar com um sistema de roscas e porcas permitindo a protensão e a posterior incorporação do tirante (YASSUDA E VIEIRA DIAS, 1998).

Figura 4 - Tirante de múltiplas barras



Fonte: Porto, 2017

O tirante de fios (Figura 5) é executado em feixes, e estes são montados ao redor de um tubo de injeção central. Os tirantes de fios apresentam a mesma configuração dos tirantes de múltiplas barras, que apresenta mais de um fio como elemento principal na seção resistente. Portanto, para maiores cargas de trabalho, seriam necessários mais fios. Este tipo de tirante apresenta uma limitação em relação ao diâmetro de perfuração, pois na prática a execução desse tirante é prevista para até 12 fios, suportando uma carga de 420 KN. A utilização desse modelo de tirante vem diminuindo visto que vem apresentando alguns problemas causados por corrosão.

Figura 5 - Tirantes de fios



Fonte: www.geofix.com.br

O tirante de cordoalha (Figura 6) apresenta seu elemento resistente à tração constituído por cabo composto pela torção de sete fios de menor diâmetro. Sua constituição é semelhante à dos tirantes de fio, tendo diferença apenas no tipo de espaçador empregado. Comercialmente apresenta-se vários tipos de cordoalhas, e estas são normatizadas pela NBR-7483, as que possuem seção individual maior que 50 mm são as de diâmetro 11mm, 12,7mm e 15,2mm. Estas cordoalhas são encontradas nas categorias 175RN, 175RB, 190RN e 190RB. Os tirantes dessa categoria mais utilizados no Brasil é a cordoalha de 12,7mm de diâmetro e aço CP 190RB. Este tipo é mais usual em tirantes de alta capacidade.

Figura 6 - Tirante de cordoalhas



Fonte: www.incotep.com.br

Os tirantes de materiais sintéticos são produzidos com novos materiais, tudo isso aconteceu graças ao desenvolvimento da engenharia de materiais. Estes tirantes são mais resistentes a corrosão e possuem uma elevada resistência a tração. Os materiais utilizados para sua fabricação são fibra de vidro, fibra de carbono, fibra de poliéster e etc. Entretanto esses tirantes ainda não são utilizados em larga escala como parte de uma estrutura de contenção.

A execução de tirantes é regida pela norma NBR 5629 (ABNT, 2018), e nesta se encontram todos os procedimentos a serem seguidos, como o projeto do tirante, cálculo dos esforços, materiais a serem utilizados, execução, instalação, injeção, registros de dados, ensaios a serem feitos para garantir a aprovação dos tirantes, incorporação de carga e serviços que devem ser feitos se o tirante for permanente, para garantir um bom funcionamento.

O ensaio de recebimento tem a finalidade de observar o desempenho do tirante em relação a capacidade de carga suportada. É um ensaio rotineiro, que deve ser executado em todos os tirantes da obra. Porém, de acordo com a norma, basta realizar o ensaio em 10% dos tirantes, todos devem ser testados com carga máxima entre 150% e 175% da carga de trabalho encontrado em projeto para tirantes permanentes e carga de 120% a 140% para tirantes provisórios. Já o ensaio de qualificação é um ensaio mais detalhado, que observa o comportamento do sistema de ancoragem do tirante. Este ensaio permite determinar a capacidade de carga e avaliar os comprimentos livre e ancorado, além do atrito desenvolvido

no decorrer do trecho livre. A norma estabelece que esse ensaio seja feito em 1% do total de tirantes permanentes e em um dos primeiros tirantes a ser executado na obra (YASSUDA E VIEIRA DIAS, 1998).

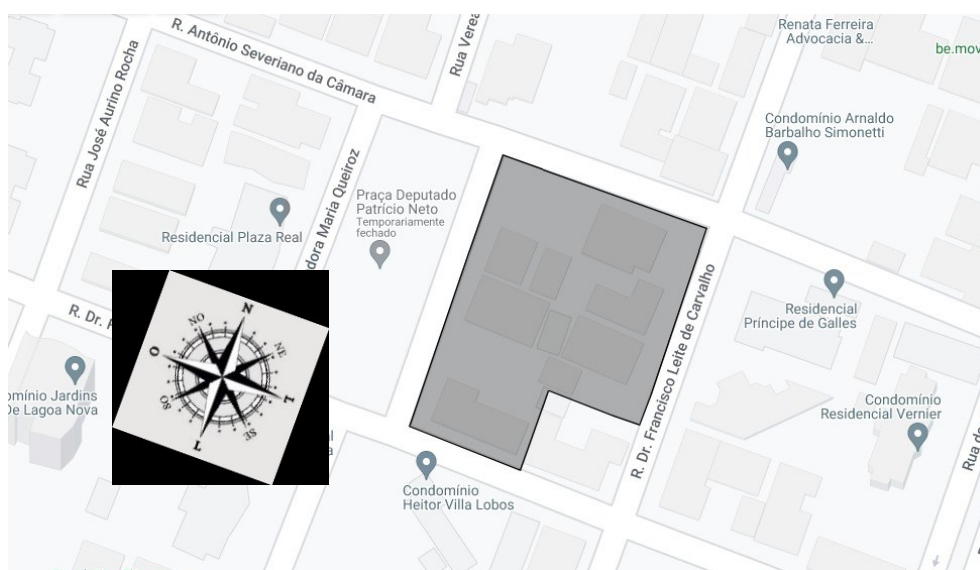
O ensaio de fluência é executado para tirantes permanentes. Esse ensaio tem o objetivo de avaliar o desempenho tomando como base cargas de longa duração. A norma estabelece a realização deste ensaio em 0,5% dos tirantes em obras que possuem mais que 100 tirantes, porém esse ensaio pode ser feito em obras com menos tirantes caso o projetista julgue necessária à sua realização (NBR 5629 ABNT, 2018).

4. METODOLOGIA

4.1. Local da obra

Os tirantes analisados no presente trabalho se encontram em uma obra que está sendo realizada para a construção de duas torres de edificios residenciais, a mesma se encontra na Rua Vereadora Maria de Queiroz, bairro Lagoa Nova, Município de Natal-RN. A localização do canteiro de obra pode ser vista na Figura 7.

Figura 7 - Localização do terreno.

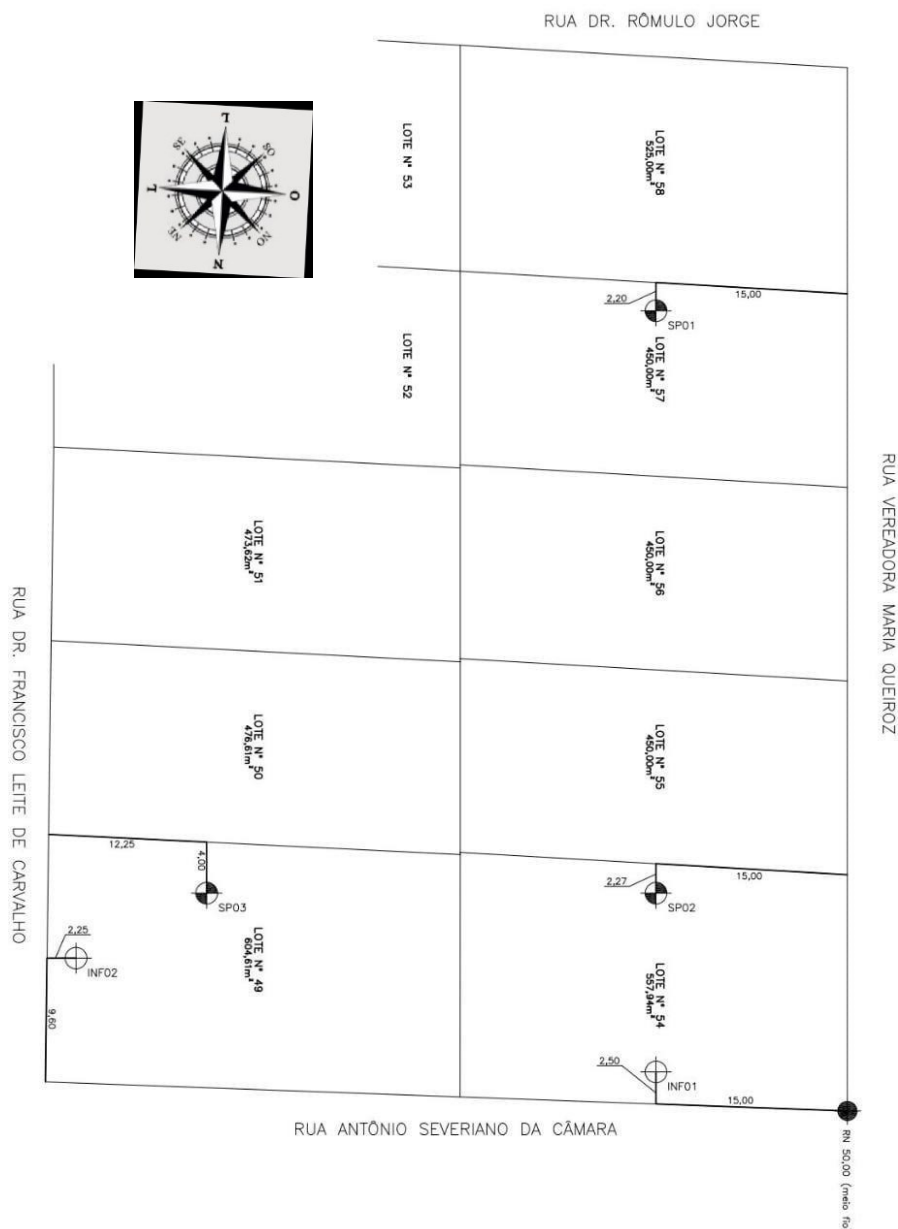


Fonte: Google Maps

4.2. Ensaio de sondagem (SPT)

Foram realizadas sondagens SPT para a caracterização do solo na área de projeção da edificação. Foram realizados 3 furos (SP01, SP02 e SP03), suas localizações podem ser vistas na figura 08.

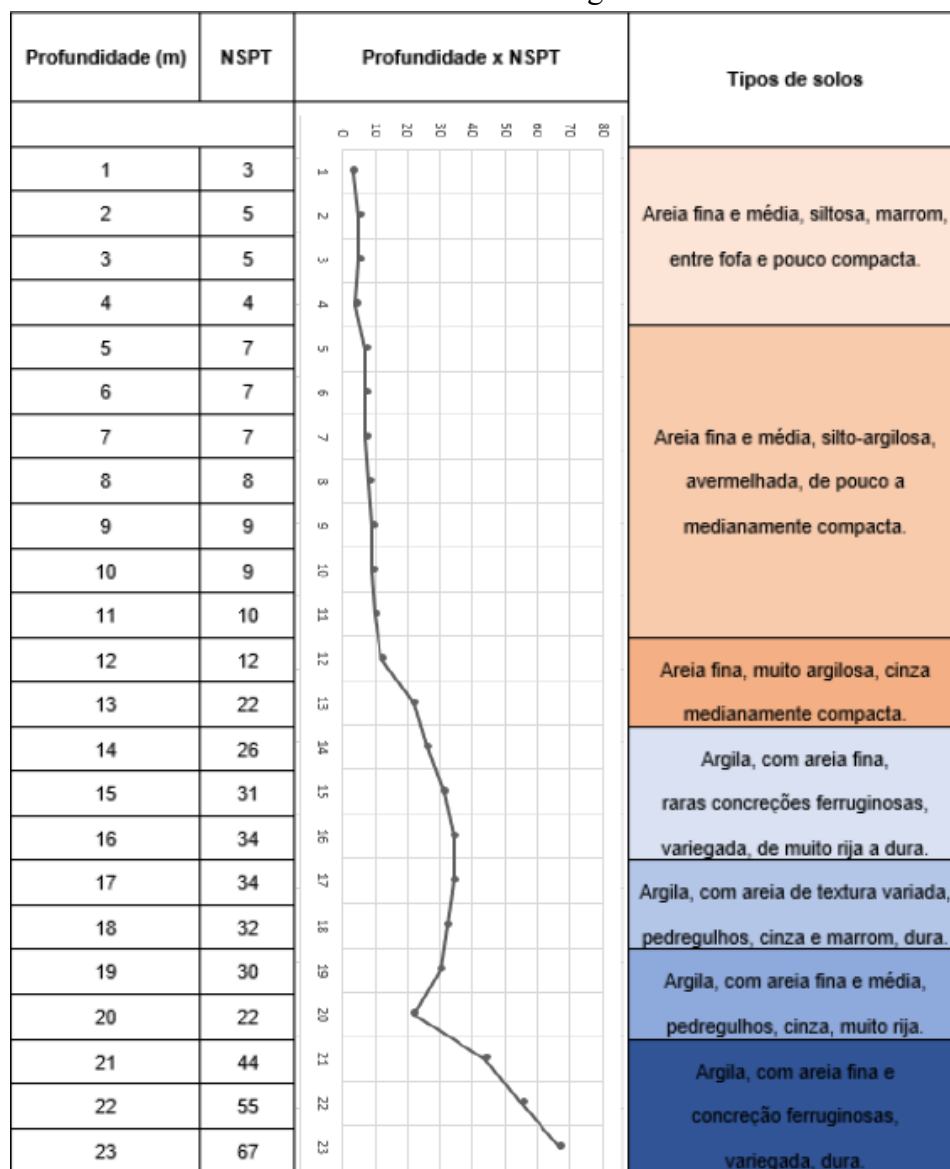
Figura 8 - Planta de locação dos furos da sondagem.



Fonte: Autoria Própria (2022)

O terreno ensaiado tem como início uma camada de areia fina e média, fofa e pouco compacta, seguida de uma camada de areia argilosa medianamente compacta, na camada seguinte houve uma transição de solo que agora apresenta uma camada de argila arenosa rija, seguida de uma camada de argila siltosa muito rija e por fim uma camada de argila dura. Durante a execução do ensaio não foi encontrado nível do lençol freático. Os resultados dos ensaios de SPT podem ser vistos nas tabelas 1, 2 e 3, já a execução dos ensaios é vista nas figuras 9, 10 e 11.

Tabela 1 - Perfil de sondagem SP01



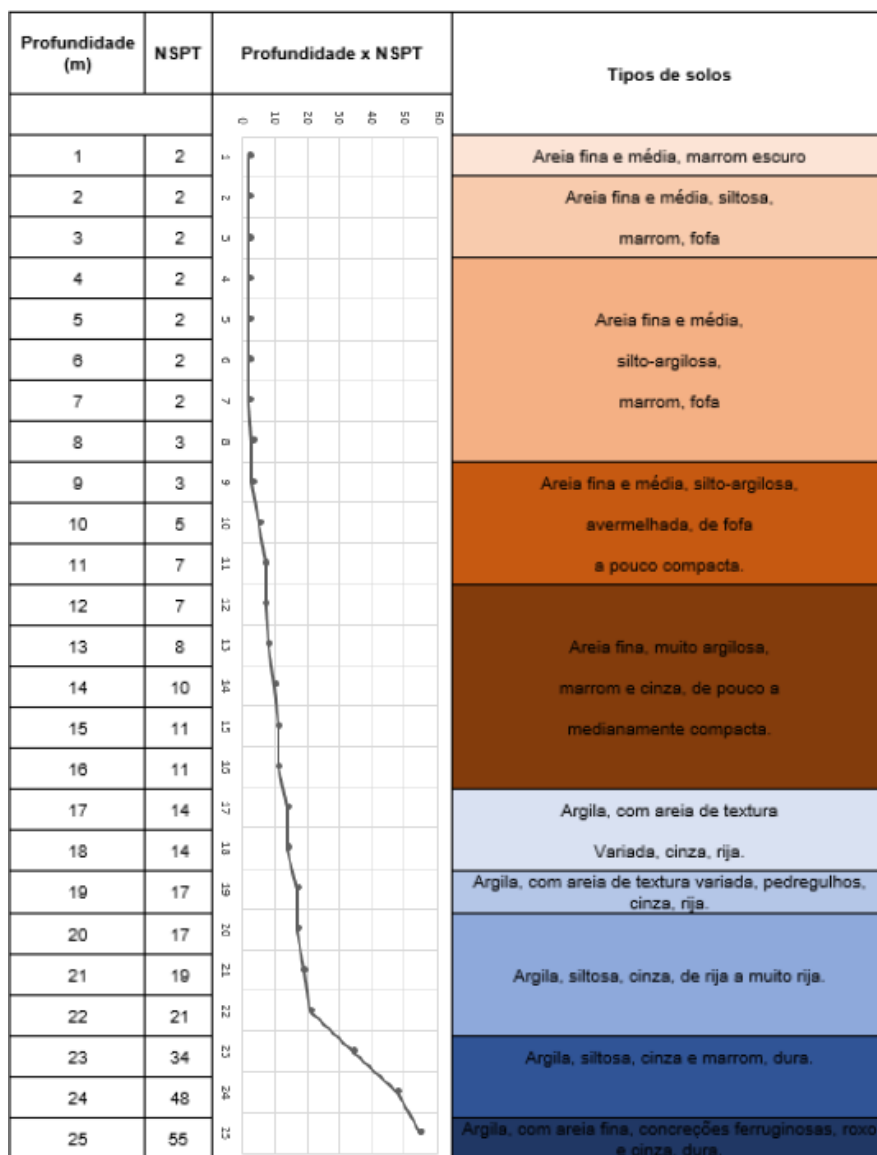
Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 9 - Execução do ensaio de sondagem do primeiro furo.



Fonte: Autoria Própria (2022)

Tabela 2 - Perfil de sondagem SP02



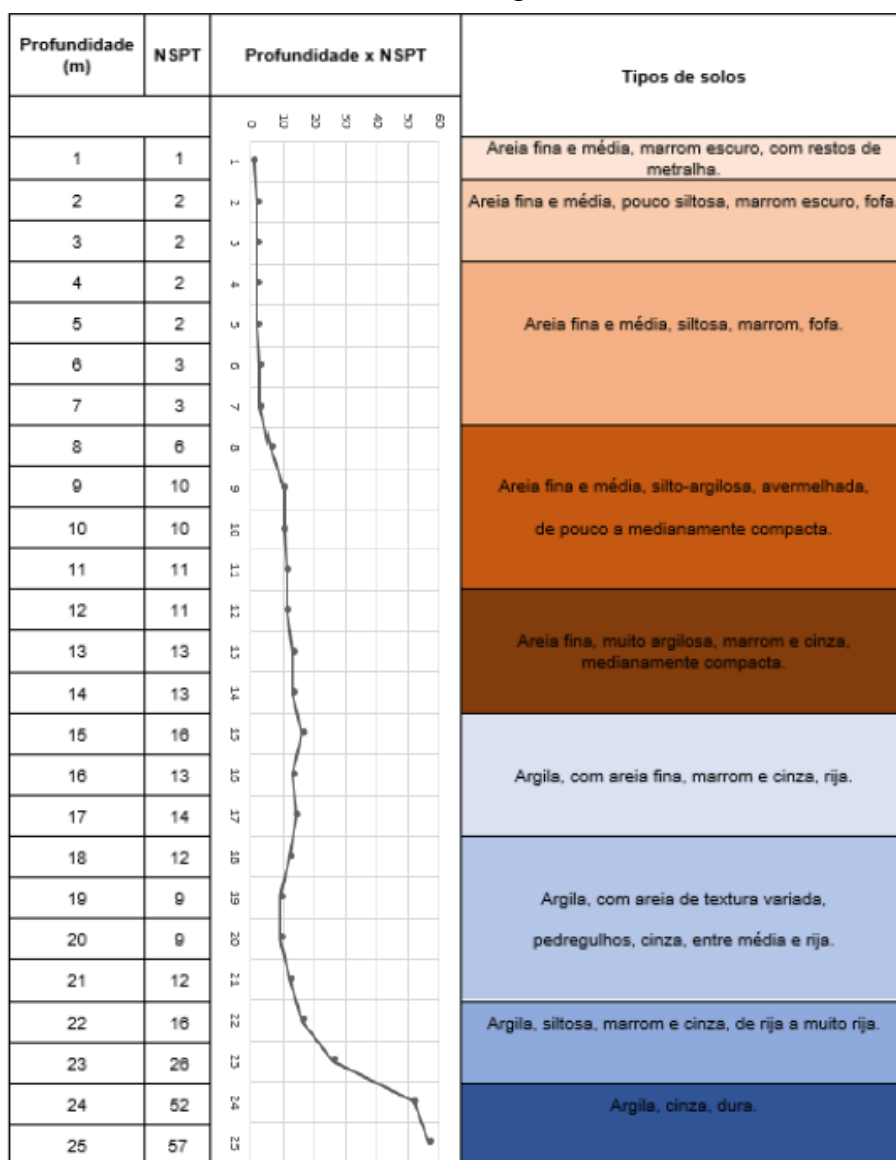
Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 10 - Execução do ensaio de sondagem do segundo furo.



Fonte: Autoria Própria (2022)

Tabela 3 - Perfil de sondagem SP03



Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 11 - Execução do ensaio de sondagem do terceiro furo.



Fonte: Autoria Própria (2022)

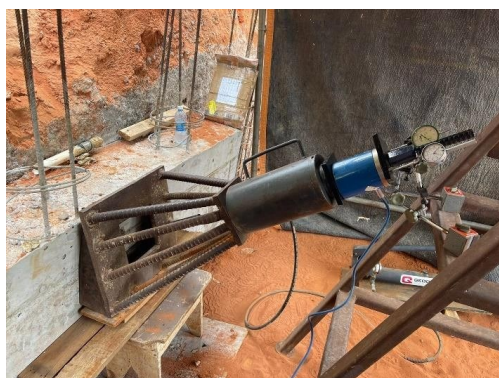
A primeira sondagem foi encerrada levando em consideração o critério 5.2.4.5 da NBR 6484. Já as demais sondagens foram encerradas levando em consideração que a paralisação da sondagem foi de responsabilidade de seu preposto.

4.3. Ensaio de qualificação

De acordo com a NBR 5629:2018 da ABNT, o ensaio de qualificação permite verificar e analisar o comportamento do tirante em um determinado solo, este ensaio deve ser realizado em 1% da quantidade, arredondada para cima, dos tirantes permanentes e em um dos primeiros tirantes da obra, levando em consideração se o tirante resiste a carga prevista para trabalhar em segurança, o deslocamento do mesmo sob carga constante e determinar o atrito ao longo do comprimento livre.

Para realização do ensaio (Figura 12), é preciso ter um conjunto de macaco e manômetro, bomba de óleo manual ou elétrica, régua graduada em milímetros ou relógio comparador, célula de carga (este equipamento é opcional, mas a utilização do mesmo permite a aferição de dados mais precisos) e grade de apoio para o macaco.

Figura 12 - Montagem do ensaio de qualificação



Fonte: Autoria própria (2022).

Após a montagem da estrutura, pode-se começar a realizar o ensaio. Este é dividido em 6 fases. Inicialmente, aplica-se a carga inicial, que é 10% da carga de trabalho máxima prevista em projeto, para que o sistema fique em equilíbrio. Na primeira fase, aplica-se 0,4 x a carga de trabalho prevista. Se o deslocamento for menor que 0,1 mm durante 5 minutos, pode ocorrer o descarregamento.

Na segunda fase, aplica-se 0,75 x a carga de trabalho prevista. Nesta, de início, eleva-se ao estágio da primeira fase, aguarda 5 minutos e em seguida aplica a carga equivalente a 0,75 x a carga de trabalho, se o deslocamento for menor que 0,1 mm em 5 minutos, pode ocorrer a

descarga de forma gradativa da fase 2 para fase 1 e, em seguida, da fase 1 para a fase 0. Como pode ser visto, a carga aplicada em cada fase não pode ser aplicada uma vez só, deve-se avançar de fase em fase, bem como esperar o tempo de aferição até a descarga. As fases completas do ensaio podem ser vistas na NBR 5629:2018 da ABNT. As cargas utilizadas para a realização do ensaio dos tirantes podem ser vistas na Tabela 4.

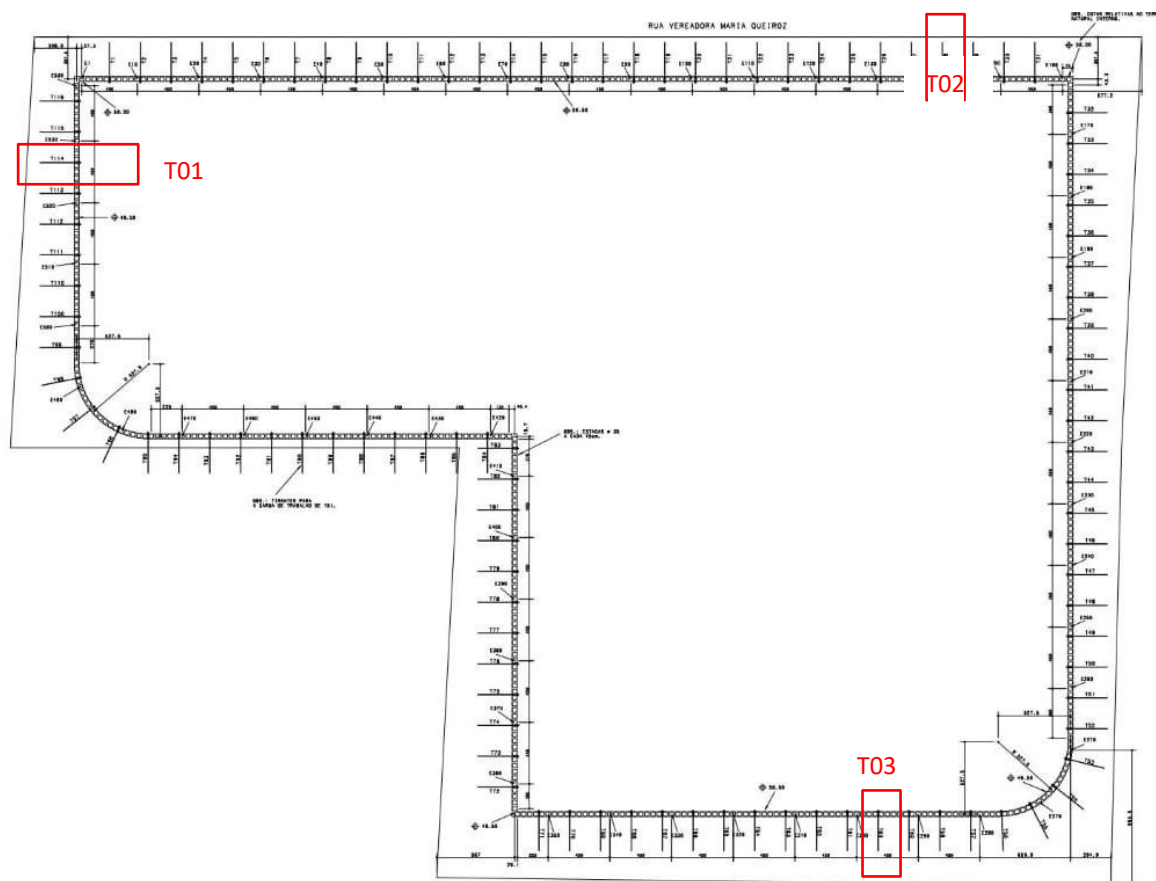
Tabela 4 - Cargas utilizadas no ensaio.

Carga de trabalho (Ft)	Cargas do ensaio	
	Estágio	Cargas (KN)
150 KN	Início do ensaio	F0 = 26,25 KN
Carga máxima (F_{lim})	1	0,4 x Ft = 60KN
	2	0,75 x Ft = 112,5 KN
1,75 x Ft = 262,5 KN	3	1 x Ft = 150 KN
Carga inicial (F0)	4	1,25x Ft = 187,5 KN
	5	1,5 x Ft = 225 KN
10% x F _{lim} = 26,25 KN	6	1,75 x Ft = 262,5 KN
Carga de incorporação (F_i)		
150 KN		

Fonte: Autoria Própria (2022)

Na obra que está servindo como base para esse estudo, foram executados ensaios de qualificação em 3 tirantes permanentes, a locação dos mesmos pode ser vista na figura 13.

Figura 13 - Locação dos tirantes estudados



Fonte: Autoria Própria (2022)

Os tirantes foram executados com diâmetro igual a 25 mm, do tipo Incotep Threadbolt, com trecho ancorado no solo variando de 10 a 14 m e trecho livre igual a 4,0 m. A caracterização mais detalhada dos tirantes pode ser vista no Tabela 5.

Tabela 5 - Detalhamento da geometria dos tirantes

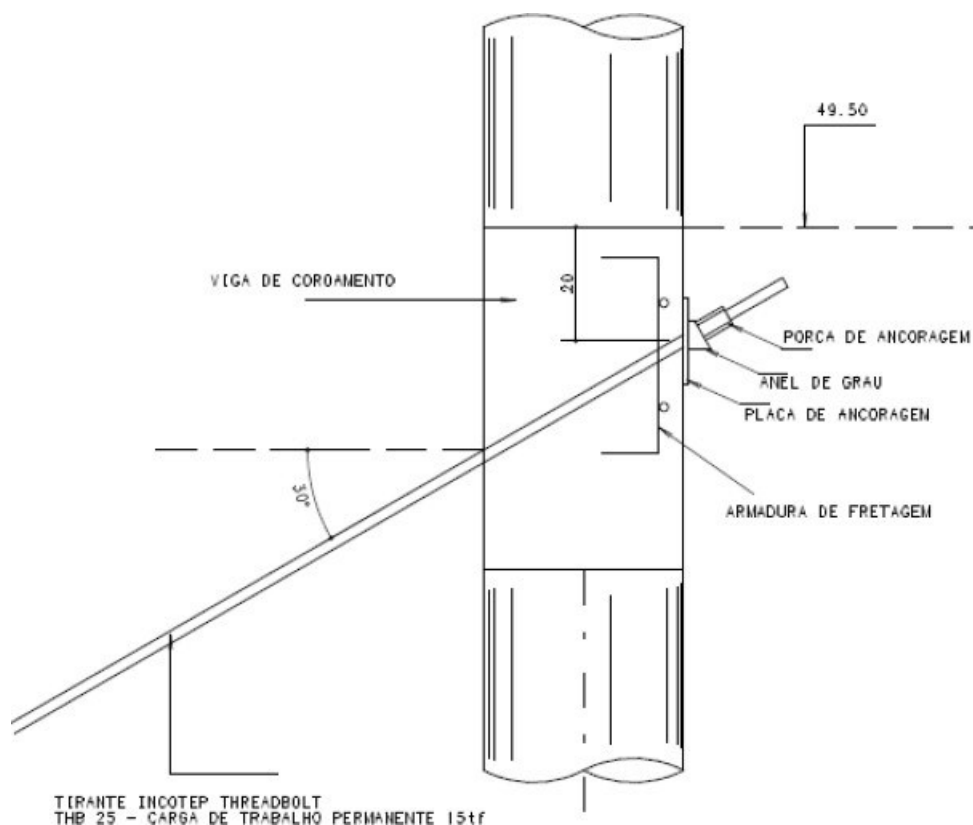
Tirante	Trecho ancorado (m)	Trecho livre (m)	Comprimento total (m)
T01	10	4	14
T02	12	4	16
T03	14	4	18

Fonte: Autoria Própria (2022)

Os tirantes (Figura 14) foram executados obedecendo às características estabelecidas no projeto de contenção original. Todos os tirantes submetidos ao ensaio de qualificação foram executados com inclinação aproximadamente igual a 30°. Para que ocorresse reação aos

carregamentos realizados pelos tirantes, foi necessário a execução de viga de coroamento conforme projeto estrutural da contenção original. Os ensaios foram executados respeitando o tempo mínimo de cura dos tirantes, que é de 7 dias após a confecção.

Figura 14 - Modelo de tirante executado.



Fonte: Autoria Própria (2022)

A execução dos ensaios se deu por base a norma NBR 5629/2018. As cargas foram aplicadas com o auxílio de um cilindro hidráulico de 500 KN de capacidade, alimentado por uma bomba manual e medidas por meio de uma célula de carga acoplada a um aquisitor de dados. Todo o conjunto foi previamente aferido por instituição idônea.

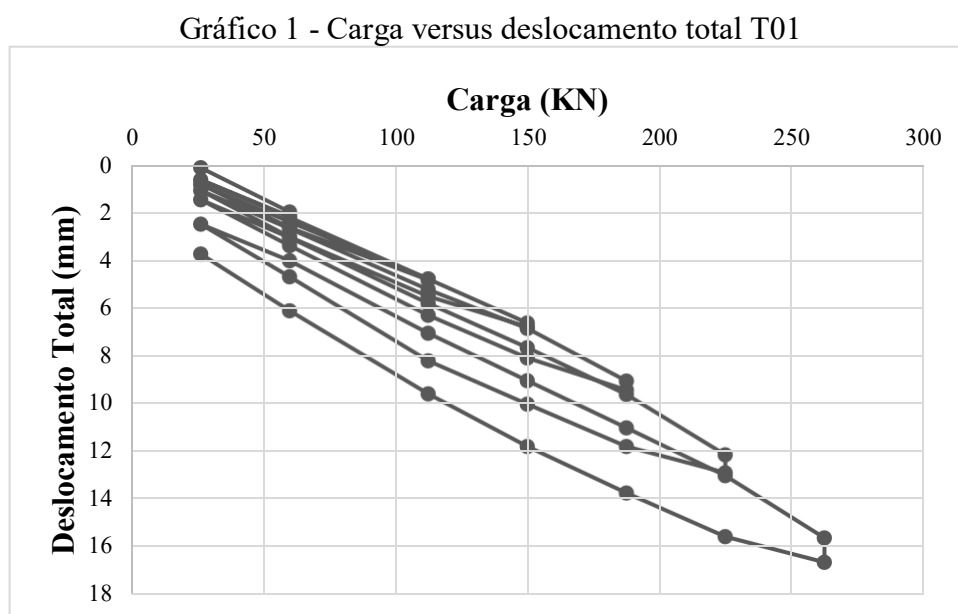
A montagem do ensaio foi procedida posicionando-se inicialmente uma banquetta inclinada sobre a viga. O cilindro hidráulico vazado foi então posicionado, seguido de uma chapa metálica vazada e, por fim, a célula de carga vazada. O sistema foi travado com uma chapa metálica vazada e porca de ancoragem sextavada de base reta. Os deslocamentos foram medidos através de dois relógios comparadores mecânicos com resolução de 0,01 mm e curso de 50 mm, posicionados diametralmente opostos, instalados com o auxílio de base magnética articulável fixada em um cavalete metálico. A ponta de contato do relógio comparador foi apoiada contra a chapa metálica vazada.

5. RESULTADOS

Os ensaios realizados têm como finalidade avaliar o comportamento dos tirantes baseados na aplicação de carga axial de tração e medição dos deslocamentos na cabeça do tirante. Foram verificados a capacidade de carga do tirante e seus deslocamentos sob carga, calculado o seu comprimento livre efetivo e avaliando a perda de carga por atrito. A seguir, serão apresentados os resultados do ensaio de qualificação.

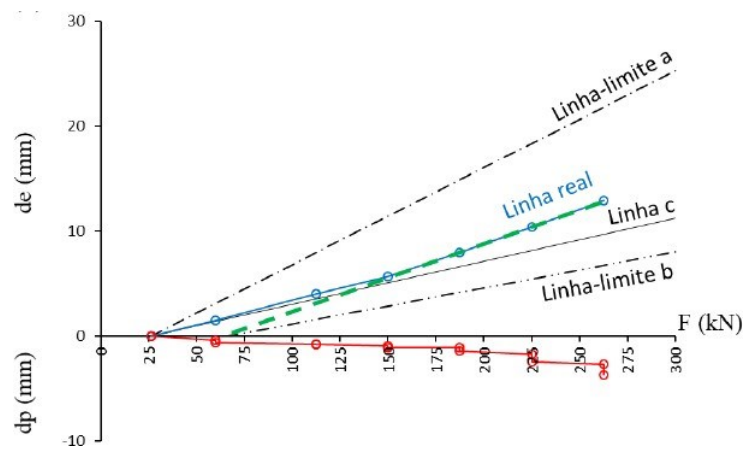
5.1. Resultados Ensaio de Qualificação

No gráfico carga *versus* deslocamento total, pode ser analisado como foi realizado o ensaio de qualificação, pois o mesmo apresenta as cargas e descargas de cada estágio do ensaio, além de apresentar o deslocamento da cabeça do tirante sobre a ação da carga de ensaio. O gráfico carga *versus* deslocamento elástico e permanente, por sua vez, demonstra o estado de trabalho do tirante ensaiado, seus deslocamentos elásticos e permanentes, como também o comprimento livre efetivo e a perda de carga por atrito.



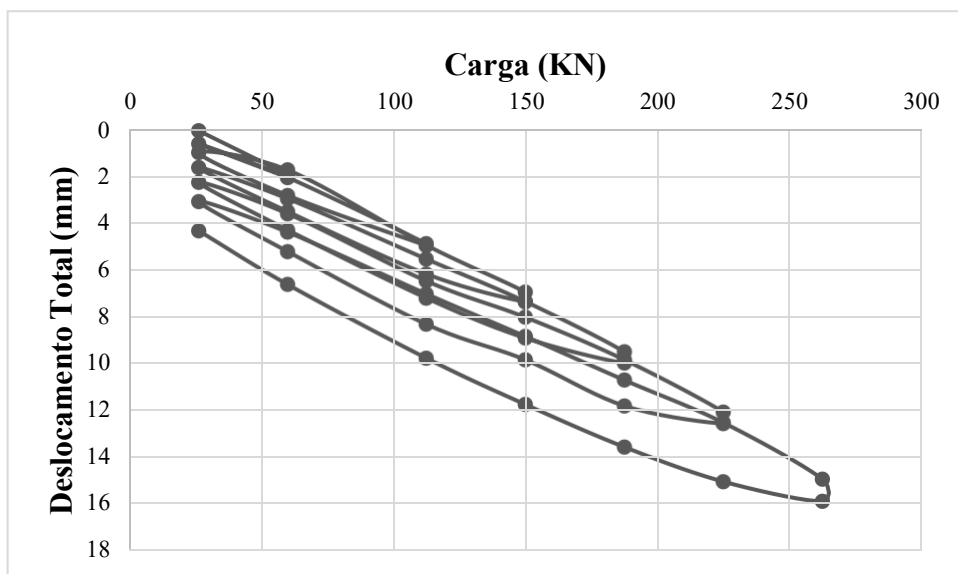
Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 2 - Carga *versus* deslocamento elástico e permanente T01



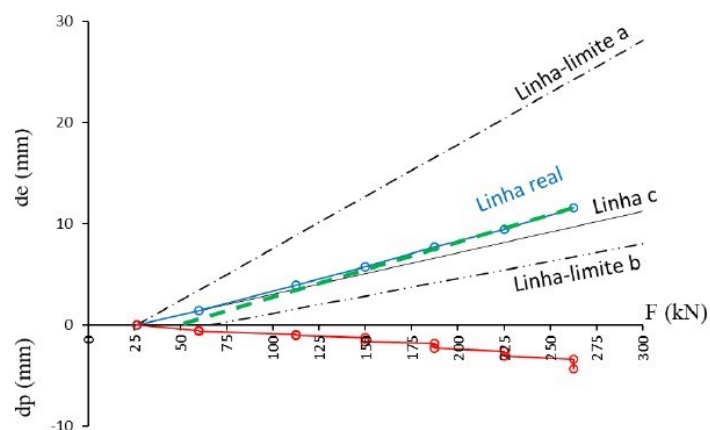
Fonte: Gráfico adaptado pelo autor (2022)

Gráfico 3 - Carga *versus* deslocamento total T02



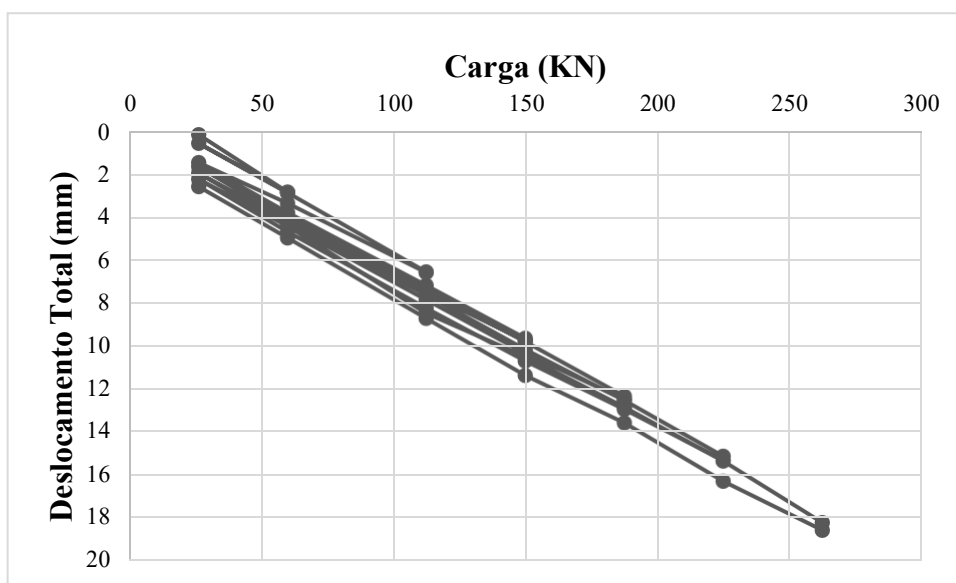
Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 4 - Carga *versus* deslocamento elástico e permanente T02



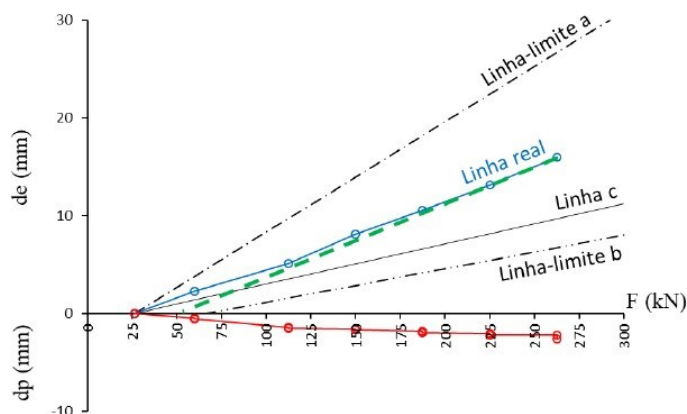
Fonte: Gráfico adaptado pelo autor (2022)

Gráfico 5 - Carga *versus* deslocamento total T03



Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 6 - Carga *versus* deslocamento elástico e permanente T03



Fonte: Autoria própria (2022)

De acordo com os resultados obtidos observou-se que, mesmo com comprimentos diferentes, os tirantes apresentam resultados semelhantes. O tirante 01 apresentou um deslocamento máximo de aproximadamente 16,7 mm, já o tirante 02 apresentou aproximadamente 16mm e o tirante 03 apresentou aproximadamente 18,6 mm de deslocamento máximo. Levando em consideração os critérios apresentados no anexo D da NBR 5629:2018 da ABNT, ambos os tirantes foram aprovados, visto que o traçado da linha real fica entre as linhas limites superior e inferior, mostrando que o tirante obedeceu o tamanho do comprimento livre dimensionado para o projeto, visto que se a linha real ultrapassar a linha limite superior, o comprimento livre encontrado seria maior que o comprimento calculado, já se o resultado ultrapassa a linha limite inferior quer dizer que o comprimento livre do tirante foi inferior ao comprimento calculado. Entretanto, isso não significa que o tirante atingiu o máximo da sua eficiência, uma vez que o que importa nesse caso é que a linha real esteja próxima da linha de comportamento teórico, que é o caso dos tirantes ensaiados. Já o comprimento livre efetivo e a perda de carga foram encontrados através da resultante do intervalo que a linha real se apresenta reta.

Tabela 6 - Tabela de resultados dos ensaios

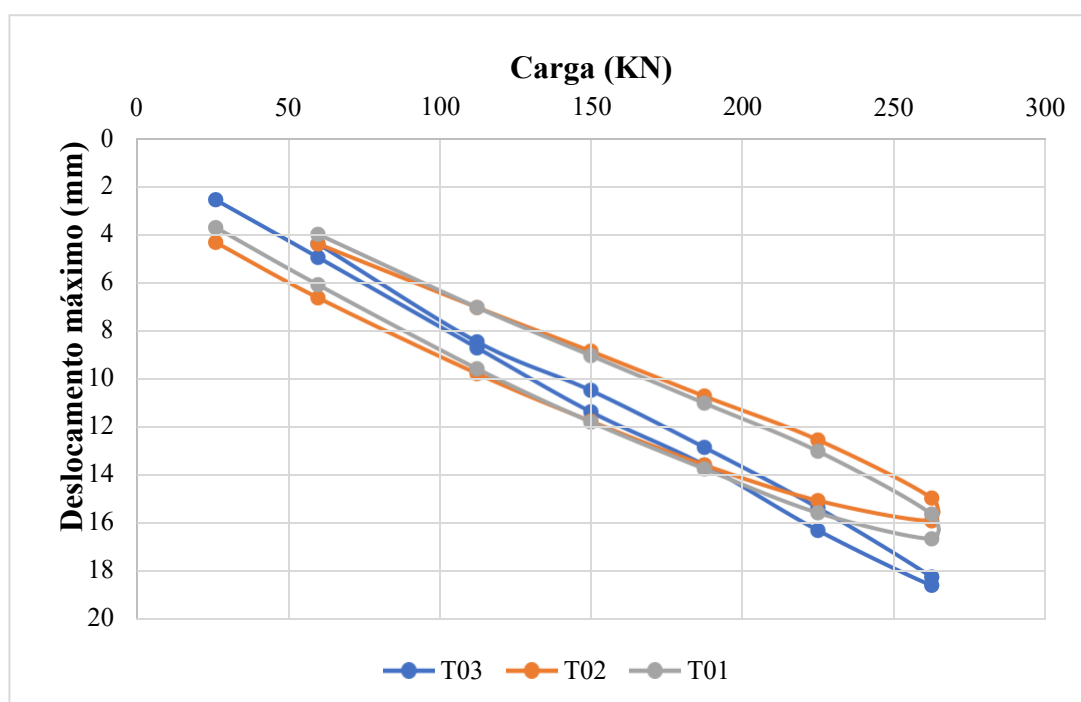
Tirante	Perda de carga por atrito (Pa)	Comprimento livre efetivo (Lle)
T01	35,8 KN	6,26 m
T02	24,8 KN	5,36 m
T03	25,8 KN	7,52 m

Fonte: Autoria própria (2022)

5.2. Comparação de resultados

Como supracitado, os tirantes apresentam comprimentos diferentes, porém, com resultados aproximados uns dos outros. Portanto, serão abordadas algumas análises feitas entre os três tirantes juntos, como o deslocamento máximo encontrado, o comprimento livre efetivo e as perdas de cargas.

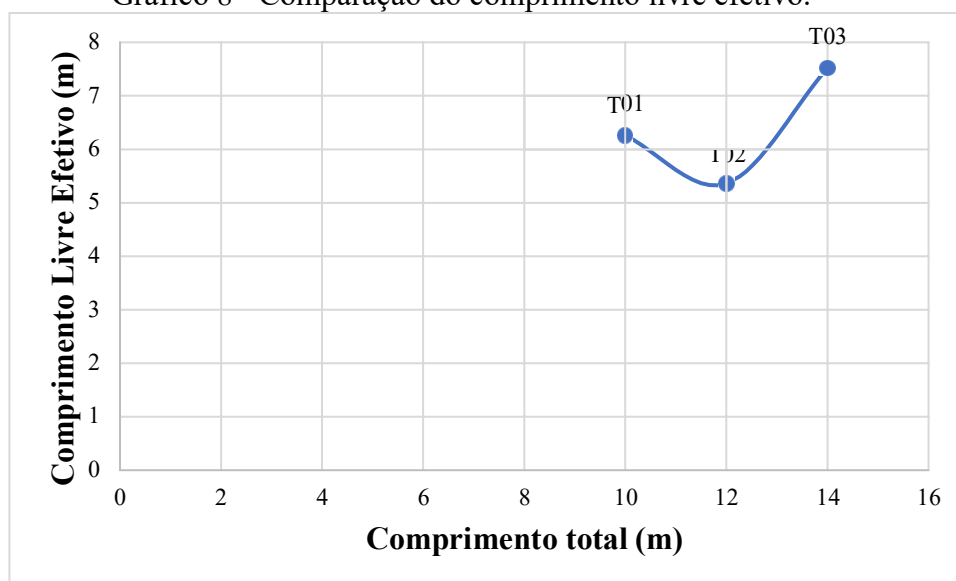
Gráfico 7 - Comparação do deslocamento máximo.



Fonte: Autoria própria (2022)

Os tirantes ensaiados apresentam uma diferença de dois metros de um para o outro, o T01 tem 14 metros, já o T02 16 metros e o T03 18 metros. Observando o gráfico, pode-se ver que, mesmo com comprimento menor o T01 apresentou um deslocamento máximo maior em comparação ao T02, já o T03 apresentou um deslocamento maior em comparação aos outros tirantes. Levando em consideração os resultados obtidos, pode-se observar que o T01 apresenta um bom comportamento, visto que em tirantes com comprimentos menores é comum apresentar um deslocamento maior, já o T03 apresentou um comportamento inesperado, pois o mesmo apresenta o maior comprimento e deveria apresentar um deslocamento menor em relação aos outros tirantes.

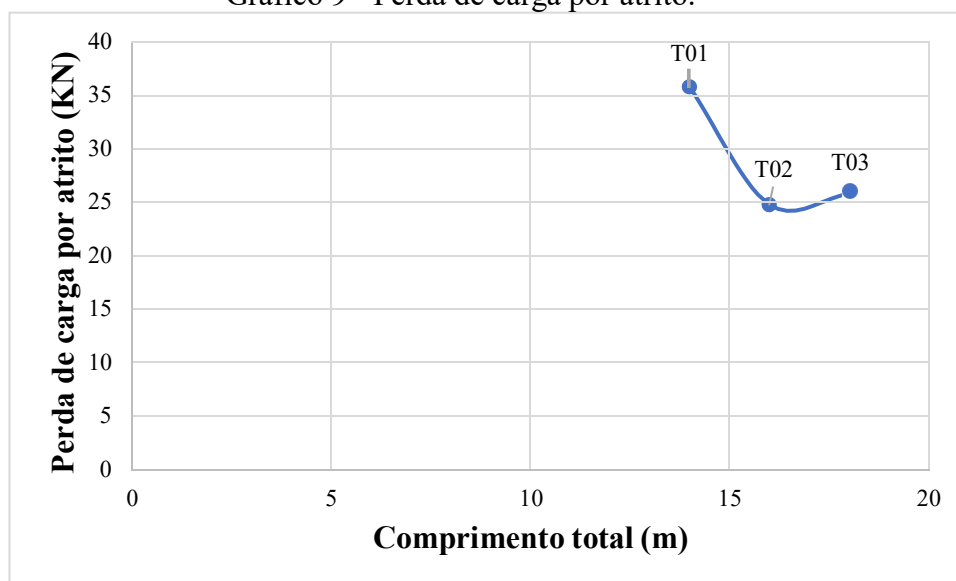
Gráfico 8 - Comparação do comprimento livre efetivo.



Fonte: Autoria própria (2022)

O gráfico 08 mostra que o tirante apresenta um comprimento livre efetivo maior que o comprimento livre, tendo em vista que o seu comprimento livre é de 4 metros.

Gráfico 9 - Perda de carga por atrito.



Fonte: Autoria própria (2022)

O tirante 01 foi o que apresentou maior perda de carga em relação aos outros tirantes ensaiados, mas os outros dois obtiveram perda de cargas quase parecidas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de tirantes como parte ou até sendo a estrutura de contenção do solo torna-se uma opção viável, visto que é uma das possíveis alternativas para contenção, no qual busca-se a maior utilização do terreno, bem como sua maior segurança.

Após a análise das características relevantes dos tirantes, como o deslocamento total, perda de carga por atrito, comprimento livre efetivo e seu comportamento, notou-se que o tirante 03 apresentou um comportamento inesperado, entretanto, não afetou o desempenho final dos tirantes, sendo estes aprovados, o que era esperado neste estudo.

Em um momento em que buscam realizar um melhor aproveitamento de terrenos e recursos, é demasiadamente importante que estas análises ocorram nas obras, visto que trazem uma garantia de maior segurança e efetividade, prevenindo possíveis prejuízos futuros.

REFERÊNCIAS

ABBAS, Larissa Bicudo Soares. Análise estrutural e geotécnica de uma contenção de talude: estudo de caso. 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2018). **NBR 5629**: Tirantes ancorados no terreno – Projeto execução. Rio de Janeiro, 2018.

BORGES, Wilson José Alves. Criatividade para Enfrentar Condições de Contorno Restritivas em Escavações Urbanas.

DA SILVA, Marcelo Euclydes. Cortina atirantada: estudo de caso. **Engenharia Civil-Pedra Branca**, 2020.

FRAGA, Marciano Lang; POMPERMAYER, Matheus Campos. CONTENÇÕES E FUNDAÇÕES DE UM EDIFÍCIO PÚBLICO NA CIDADE DE PORTO ALEGRE/RS.

GEOFIX. **Tirantes**. Disponível em: <http://www.geofix.com.br/servico-tirantes.php>. Acesso em: 24 maio 2022.

GEOSONDA S.A. **Tirantes**. 2020. Disponível em: <https://www.geosonda.com.br/tirantes-resistentes-a-tracao.html>. Acesso em: 16 fev. 2022.

GERSCOVICH, Denise. DANZIGER, Bernadete Ragoni. SARAMAGO, Robson. **Contenções**: teoria e aplicações em obras. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

HACHICH, Waldemar Coelho; FALCONI, F. F.; SAES, J; *et al.* Fundações: teoria e prática. [S.l: s.n.], 1996.

LIMA, Wilton de Oliveira. Comparação entre sistemas de contenção de subsolo: parede diafragma e estacas justapostas. 2021.

OLIVEIRA, Amanda Moraes de. Dimensionamento geotécnico e estrutural de uma estrutura de contenção. 2018.

PAIVA, Carolina Trindade. Estudo de caso de estabilização de taludes em área urbana com estruturas mistas de solo grampeado e cortina atirantada. 2021.

REFFATI, Márcio Eduardo. **Análise numérica de uma escavação de grande porte em Porto Alegre/RS: caso de obra.** 2002. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.