

## ANÁLISE DE UMA ESTRUTURA DE CONTENÇÃO NO SUBSOLO DE UM PRÉDIO FICTÍCIO EM SOLO ARGILOSO

### ANALYSIS OF A CONTAINMENT STRUCTURE IN THE UNDERGROUND OF A FICTITIOUS BUILDING ON CLAY SOIL

<sup>1</sup>VARGAS, Lucas R; <sup>1</sup>AMANCIO, Daniel de Traglia.

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Civil – Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

#### RESUMO

O presente estudo apresenta uma análise de uma estrutura de contenção no subsolo de um prédio fictício em solo argiloso. O objetivo da estrutura é fazer a sustentação do maciço de solo durante o período de construção do edifício, e posteriormente atuar como elemento estrutural (pilar). Essa contenção é do tipo perfil pranchado, perfil tipo i (padrão comercial), e placas de concreto pré-moldadas (fck de 25 Mpa). Cada perfil metálico possui 11 metros de comprimento, sendo 5 metros de ficha abaixo do solo, e vão livre entre cada perfil de 1,20 metros. A amostra de solo trata-se de uma argila siltosa de gama ( $\gamma$ ) = 17kN/m<sup>3</sup> retirada da cidade de Ourinhos-SP, a qual possui resultado do SPT (Standard Penetration Test) de 22 golpes a 12,45 metros de profundidade. A análise foi realizada pelo software computacional Ftool em pórtico plano, em que obteve-se resultados de esforço cortante, momento fletor e deformação.

**Palavras-chave:** Estrutura de Contenção; Interação Solo Estrutura; Perfil Pranchado; Solo Argiloso.

#### ABSTRACT

The present study presents an analysis of a containment structure in the basement of a fictitious building in clayey soil. The purpose of the structure is to support the soil mass during the building's construction period and subsequently serve as a structural element (pillar). This containment is of the plank profile type, type I profiles (commercial standard) and pre-molded concrete plates (fck of 25 Mpa). Each metal profile is 11 meters long, with 5 meters of the plug below the ground and a free space between each profile of 1.20 meters. The soil sample is a silty clay of range ( $\gamma$ ) = 17 kN/ m<sup>3</sup> taken from the city of Ourinhos-SP, which has a Standard Penetration Test (SPT) result of 22 blows at a depth of 12.45 meters. The analysis was carried out using the Ftool computational software on a flat frame, which obtained results of shear effort, bending moment and deformation.

**Keywords:** Containment Structure; Soil-Structure Interaction; Planked Profile; Clay Soil.

#### INTRODUÇÃO

As estruturas de contenção são frequentemente utilizadas em grandes cidades para obras subterrâneas. O acentuado crescimento populacional gera a necessidade de adequações, tais como, locais que não possuem muito espaço em sua superfície, ou já estão repletos de construções. Assim, libera-se mais espaço, possibilitando o surgimento de novas construções. (JUNQUEIRA MOTA, 2008)

Esse tipo de estrutura tem diversos tipos de aplicações. São utilizadas nas garagens, viadutos, pontes, metrô, dutos, subsolos de edifícios, dentre outros. Inegavelmente, essas estruturas têm uso bastante comum. Proporcionam estabilidade a maciços de solo, servem de escora suportando-o e fazem a isolação

do terreno. É, portanto, de grande importância saber os tipos de elementos estruturais que compõe a contenção e também qual o tipo de solo em que se insere.

Diferentes tipos de solos possuem características distintas, caracterizando o modelo da contenção. O solo argiloso adere na contenção e não possui boa capacidade de drenagem de água, já o arenoso tem atributos diferentes, não adere na contenção e tem facilidade em escoar líquidos. Assim, para que a cotenção seja feita de maneira correta é necessário fazer uma análise preliminar do terreno e do solo.

A contenção em estudo será simulada para um prédio fictício, com subsolo de 6 metros de profundidade, dividido em 2 pavimentos. Além disso, a estrutura irá percorrer toda a extensão horizontal de 10 metros adjacente ao maciço de solo. Essa contenção é composta de perfis metálicos (pilares) e placas de concreto armado (preenchimento). Assim, esse estudo possibilitará o estudo e melhor compreensão desse tipo de estrutura em solo argiloso.

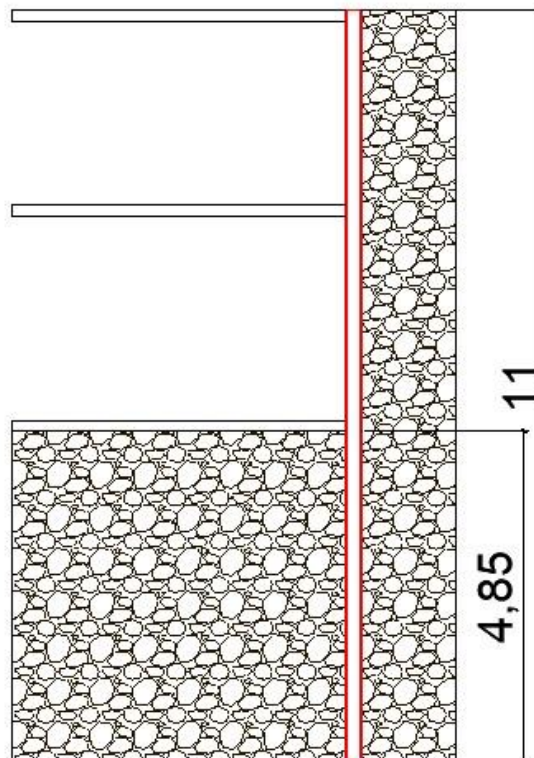
## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Estudo de caso**

#### **Planta, perfil da contenção e desenhos gerais de projeto**

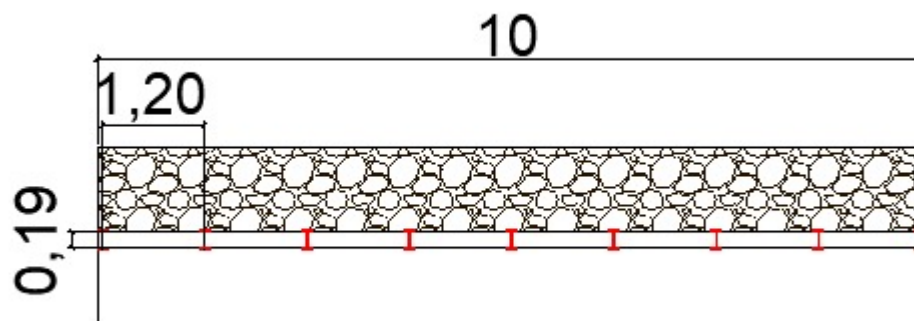
As ilustrações do projeto foram desenvolvidas pelo software computacional AutoCAD. No desenho é possível observar o corte lateral e vista superior da estrutura, contendo o detalhamento do muro de contenção e sua locação.

**Figura 1** – Representação do corte lateral do muro de contenção no AutoCad.



**Fonte:** Autor.

**Figura 2** – Representação da vista superior do muro de contenção no AutoCAD no AutoCad.



**Fonte:** Autor.

### **Solo da região: Ourinhos-SP (Argiloso)**

O solo argiloso escolhido para realizar o projeto é da cidade de Ourinhos-SP, no bairro Ville de France. O método de sondagem utilizado foi o SPT “Standard Penetration Test” ou Ensaio de Sondagem à Percussão. No ensaio foram realizados alguns furos de sondagem pelo método de Terzaghi (1943), e para a representação deste projeto foi escolhido o furo número 2 (Figura 3).

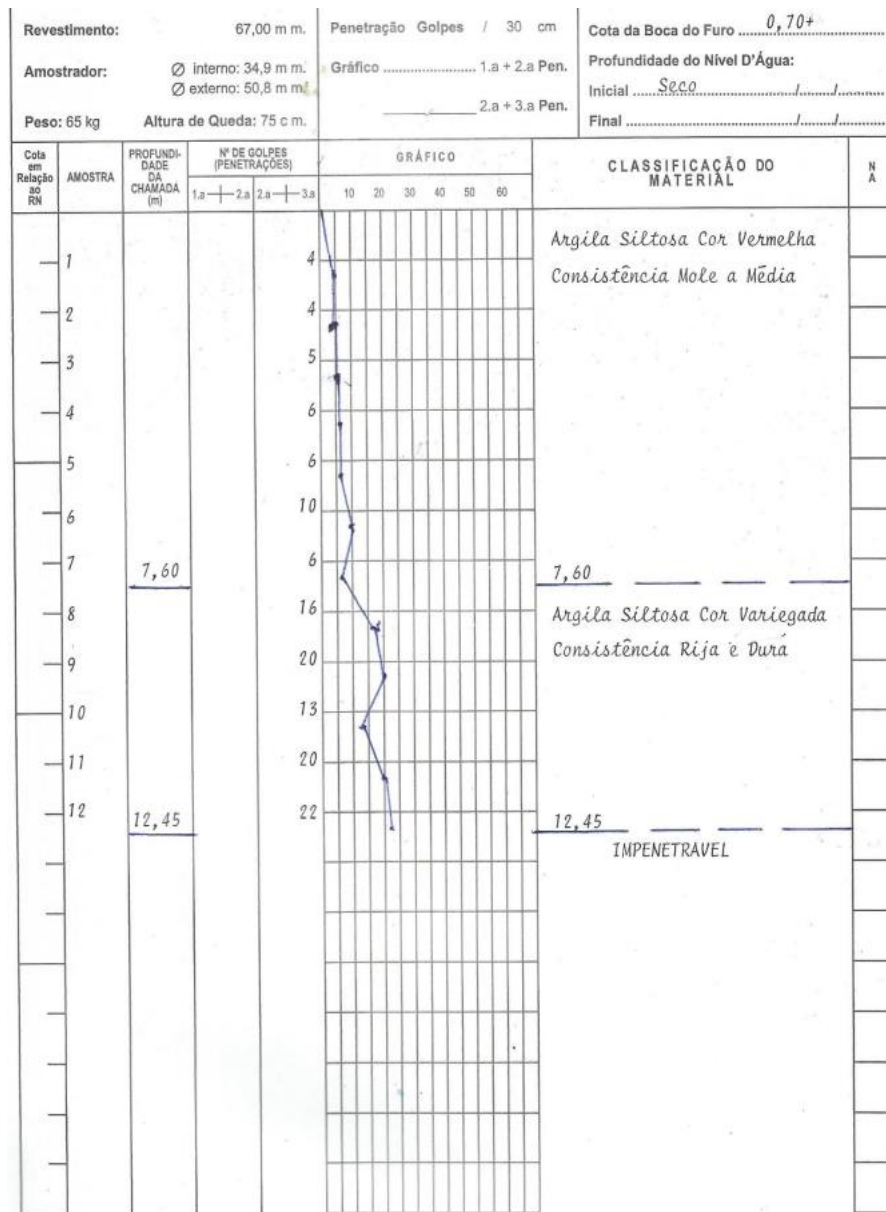
### **Ensaio SPT**

Para qualquer tipo de construção é imprescindível que seja feito um estudo prévio de todos os fatores que possam vir a influenciar no projeto. O principal fator que deve ser levado em consideração é o tipo de solo, pois é através dele que a estrutura dissipa suas cargas. O estudo de solo mais utilizado no Brasil e que será usado no projeto é denominado Standard Penetration Test (SPT) que seria um processo de reconhecimento do solo e algumas de suas características como: perfil estratigráfico, nível d’água. Por meio de correlações consagradas na literatura o SPT possibilita determinar a capacidade de carga do solo. As informações obtidas através desse ensaio SPT são cruciais no processo de tomada de decisão a fim de viabilizar a execução mais eficiente, segura e econômica. (GALVÃO et al, 2019).

Nesse método, mede-se a resistência de uma camada de solo de 1 metro, e o resultado final é considerado pela quantidade de golpes que são necessários para penetrar a camada nos últimos 30 centímetros, esse resultado é chamado de NSPT.

Para os diferentes tipos de solo é necessário fazer algumas considerações, tais como, nesse projeto, o solo argiloso tem aderência significativa na face da contenção e tem pouca capacidade de drenagem de líquidos. Para o solo argiloso deve-se calcular sua coesão, e diferente do solo arenoso, o ângulo de atrito de solos argilosos é igual a zero.

**Figura 3 – Ensaio SPT em solo argiloso.**



**Fonte:** Autor.

### **Materiais do muro de arrimo**

A estrutura do muro de contenção é composta por perfis metálicos do tipo I, esses perfis são cravados no solo com as abas paralelas à face da escavação. Os perfis possuem 11 metros de altura (6 metros acima do solo e adotado 5 metros de ficha abaixo do solo). A medida do vão livre adotada entre cada perfil possui um espaçamento de 1,20 metros, que é distribuída ao decorrer da estrutura.

O preenchimento dos vãos entre os perfis metálicos é com placas de concreto pré-moldadas dispostas na horizontal percorrendo todo o vão livre. Essas placas possuem 1,20 metros de comprimento, 0,19 metros de largura e 0,30 metros de altura, com  $f_{ck}$  de 25 MPa.

## Memorial de cálculo

### Empuxo

A carga lateral de empuxo do solo que incide sobre o muro de contenção, é o principal carregamento sobre muros de arrimo e outras estruturas de contenção. O empuxo de solo tem, além de suas tensões verticais, forças horizontais que o maciço de solo irá exercer sobre a estrutura.

Essas forças aumentam gradativamente conforme a profundidade também aumenta, de modo que a área de influência das tensões se assemelhe a um triângulo. Assim, o solo é comprimido gerando resistência ao cisalhamento que aumenta a reação do solo sobre a contenção.

O muro em análise é classificado como cortina de ficha descontínua, cada tipo desse muro de contenção possui um modelo de cálculo diferente.

São designadas como cortinas com ficha descontínua aquelas constituídas por peças verticais cravadas até uma profundidade abaixo do nível da escavação (perfis metálicos, estacas, por exemplo) e entre as quais são dispostas horizontalmente, acima do nível da escavação, pranchas de madeira (ou de concreto pré-moldado, ou de blindagem de aço etc.). (GERSCOVICH; SARAMAGO; RAGONI DANZIGER, 2019).

O cálculo de empuxo ( $E_p$ ) para fichas descontínuas é determinado pela equação a seguir.

$$E_p = \frac{1}{2} y' k_p t_0^2 (b_0 + b'_{s,\emptyset}) + 2c' \sqrt{k_p} t_0 (b_0 + b'_{s,c}) \quad (1)$$

**Fonte:** GERSCOVICH; SARAMAGO; RAGONI DANZIGER, 2019.

Observa-se que a equação fornece o empuxo disponível para cada perfil. Esse valor, dividido pelo espaçamento entre perfis, deve ser comparado aquele correspondente a uma parede contínua. Caso seja maior deverá ser considerado o cálculo da parede contínua, e não do perfil trabalhado de forma isolada. (GERSCOVICH; SARAMAGO; RAGONI DANZIGER, 2019).

A fim de reduzir o empuxo do solo na contenção, é possível reduzir o espaçamento entre perfis ou aumentar a ficha, conforme mencionado, para este caso foi considerado um espaçamento de 1,20 metros e comprimento de ficha de 5 metros.

### **Interação solo estrutura**

No método convencional de cálculo de estruturas e fundações os apoios são considerados de forma rígida, de uma forma geral, sendo representados por rótulas ou engastes. Apesar desse método não remeter fielmente à realidade, ele é o principal abordado no meio profissional, e também na graduação, por considerar cálculos não tão complexos e que seja possível sua realização manual. Após a evolução da tecnologia, e com a chegada dos microcomputadores, se tornou possível o dimensionamento das estruturas e fundações através de apoios elásticos, que consideram coeficientes de deformabilidade do solo, nos quais resultam em esforços resultantes mais fiáveis. (FINAMORE DE CARVALHO, FALCONI, 2018)

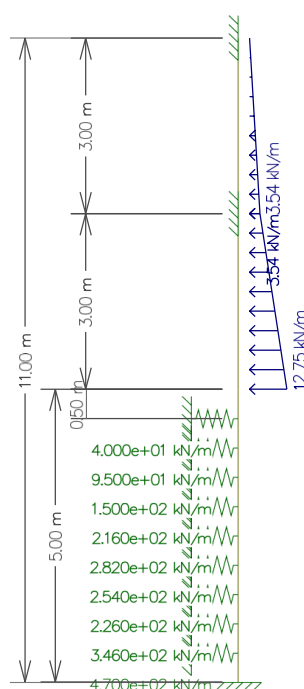
O modelo de fundação elástica do comportamento do solo foi originalmente proposto por Winkler (1867), caracterizando o solo como uma série de molas lineares-elásticas desconectadas, de modo que a deformação ocorre somente onde o carregamento existe. (BAZAN, 2015)

Seguindo a metodologia de Waldemar Tietz no cálculo dos coeficientes de mola horizontal em estacas, foi possível obter seus esforços do carregamento horizontal. Para obter esse resultado foi calculado a área da face do perfil pela largura e altura de 1 metro, resultando numa área de 0,133 m<sup>2</sup>. Assim, através da tabela do tqsdocs (2023), (tabela 1), obteve-se o (Kh) por meio de: cota (z) em metros, SPT (número de golpes por camada) e tipo de solo.

### Análises computacionais no Ftool

Para o dimensionamento preliminar da estrutura, foi utilizado o software computacional Ftool, desenvolvido na PUC-Rio. O software foi capaz de demonstrar o comportamento estrutural da contenção em pórtico plano. A partir da geometria do muro, foi aplicado as considerações de apoio e carregamento (Figura 4), verificando o esquema estrutural da contenção obteve-se resultados do diagrama de esforço cortante (Figura 5), momento fletor (Figura 6) e deformação (Figura 7).

**Figura 4** – Diagrama da estrutura pelo software Ftool em pórtico plano.



**Fonte:** Autor.

Conforme apresentado na imagem, a estrutura terá um carregamento distribuído (Q) de 0 a 12,75kN/m na seção de 6 metros e o coeficiente de mola que tem variação de carga a cada 0,50 metros ao decorrer da ficha contida no solo. A seção acima da ficha possui duas lajes estruturais engastadas, esse engaste da contenção gera um momento fletor a laje do prédio. Além das lajes, a seção possui também pilares engastados no final do perfil, que eram forças normais sobre a estrutura e também momento fletor. Totalizando a medida do perfil temos a ficha com 11 metros de altura, amparada pela ficha que auxilia em sua contenção.



## **Análises de estabilidade**

### **Tombamento**

O tombamento ocorre quando um muro de contenção se inclina ou desliza devido a falta de estabilidade, e forças laterais superam sua capacidade de resistência. É um tipo de falha comum em estruturas de contenção, normalmente por mal dimensionamento ou falta de conhecimento sobre o assunto. Para avaliar o risco de tombamento é preciso analisar as dimensões da estrutura, sua geometria, materiais utilizados, tipo de solo e nível do lençol freático.

Portanto, é preciso fazer os cálculos estruturais, que podem ser realizados em softwares e permitem determinar sua capacidade de resistência as cargas laterais, também levando em consideração fatores como peso próprio da estrutura, sobrecargas externas, pressões hidrostáticas e nível do lençol freático.

Para a estrutura fictícia dimensionada temos também o apoio de lajes, pilares, ficha e o próprio solo. Esses apoios contribuem para a segurança da estrutura após finalizada desde que o restante da estrutura do prédio seja dimensionada e calculada de forma correta.

### **Capacidade de carga da fundação**

A capacidade de carga de uma fundação refere-se à quantidade máxima de carga que a fundação é capaz de suportar de forma segura e estável. A fundação é responsável por transmitir os esforços da estrutura para o solo, a análise desses cálculos são determinados pelo tipo de solo, fundação e fatores externos.

O objetivo é garantir que a fundação seja capaz de suportar as cargas de forma adequada, evitando o colapso ou deformações excessivas da estrutura. É importante dimensionar adequadamente a capacidade de carga da fundação para garantir a estabilidade e a segurança da estrutura.

Uma fundação mal dimensionada pode levar a deformações excessivas, recalques diferenciais, rachaduras nas paredes e até mesmo o colapso da construção. Por outro lado, uma fundação superdimensionada pode resultar em custos desnecessários de construção.

Para determinar a capacidade de carga da fundação é preciso realizar testes de carga, ensaios de penetração de solo, análises geotécnicas e cálculos

estruturais. Esses fatores levam em consideração características como a resistência e compressibilidade do solo, a distribuição das cargas na fundação e as características estruturais da edificação

### **Ruptura global**

A análise de ruptura global em um muro de contenção envolve a avaliação dos fatores que podem levar a falha estrutural do muro e os impactos resultantes dessa falha. O muro de contenção projetado para reter o solo e os outros materiais, a ruptura global ocorre quando catastroficamente ele se rompe. Essa ruptura terá consequências significativas e pode resultar em deslizamentos ou desmoronamentos. Diversos fatores podem contribuir para a ruptura de um muro de contenção.

Esse tipo de falha é considerada a pior de todas, principalmente para vidas humanas, pois poderá ocorrer de forma repentina e afetar toda a estrutura. E a respeito da estrutura, pode-se dizer que as sequelas são tão graves que fica difícil reparar os danos, e alguns casos é nem se quer é possível, visto que a estrutura fica degenerada ou completamente destruída.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Com o resultado do cálculo do empuxo, foi determinado o valor final obtido da carga distribuída na contenção, que foi de 12,75kN/m na cota do piso térreo. Através desse valor, foi realizado uma média por semelhança de triângulos para encontrar o valor de 3,54kN/m, na cota da laje 1.

Tabela 1 – Expuxo

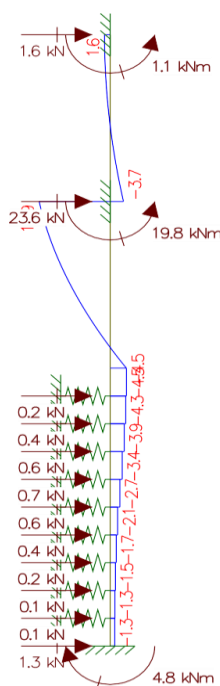
z (m)	SPT	Solo	m (tf/m <sup>4</sup> )	Crh (tf/m <sup>3</sup> )	Kh (tf/m)
1	6	Argila Siltosa	300	300	39,9
2	16	Argila Siltosa	565	1130	150,29
3	20	Argila Siltosa	706	2118	281,694
4	13	Argila Siltosa	424	1696	225,568
5	20	Argila Siltosa	706	3530	469,49
6	22	Argila Siltosa	700	4200	558,6

Já os coeficientes de mola, aumentam gradativamente suas tensões, de modo que ajudam positivamente a estabilidade do perfil.

Conforme mencionado os valores de esforço cortante (Figura 5), momento fletor (Figura 6) e Deformação (Figura 7) foram obtidos por meio do software computacional Ftool.

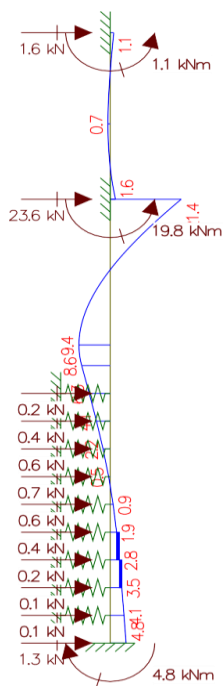
As figuras a seguir demonstram os esforços atuantes obtidos do empuxo do solo, interação solo-estrutura e as considerações de engaste aplicadas (solo, laje e pilar).

Figura 5 – Esforço cortante



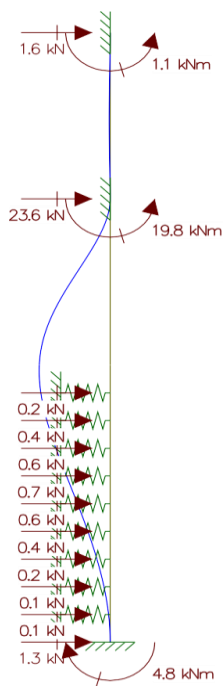
Fonte: Autor.

**Figura 6 – Momento fletor.**



**Fonte:** Autor.

**Figura 7 – Deformação.**



**Fonte:** Autor.

## CONCLUSÕES

A fim de obter melhor entendimento do comportamento estrutural e suas características, o objeto de estudo deste trabalho é uma estrutura de contenção tipo perfil pranchado de um prédio fictício. Tipo de estrutura que terá uma demanda cada vez maior, principalmente em áreas urbanas e grandes centros, locais que competem pela locação de espaço na superfície, para edifícios e construções.

Foi escolhido o solo de um local da cidade de Ourinhos-SP, para isso foi realizado um ensaio SPT com resultado médio de 11 golpes por metro em um solo argiloso. Em seguida foi elaborado o desenho do projeto no software computacional AutoCAD, adotado um muro de 6 metros de altura, 5 metros de ficha e 10 metros de comprimento. O perfil metálico será disposto a cada 1,20 metros e seu vão será preenchido com placas de concreto pré-moldado fkc de 25 MPa .

Através dessas medidas, foi possível estipular os resultados do empuxo de 12,75kN/m e do coeficiente de mola a cada 0,50 metros. Esses dados foram representados na execução do modelo no software computacional Ftool, representando em plano bidimensional, os apoios e as cargas que incidem na estrutura. Assim, com o esquema completo, obteve-se os resultados de esforço cortante, momento fletor e deformação desta estrutura.

## REFERÊNCIAS

BARNES, Graham. **Mecânica dos Solos: Princípios e Práticas**. 1. ed. São Paulo: GEN LTC, 2016.

BAZAN, Hyllttonn Wyktor Dhannyells. **Um Modelo de Estaca para Análise de Vibrações**. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

FINAMORE DE CARVALHO, André Filipe; FALCONI, Gabriel Dornellas. **Interação Solo-Estrutura: Comparativo entre Apoio Elástico e Apoio Rígido em Fundações Superficiais Diretas**. Monografia de conclusão de curso apresentada ao curso de engenharia civil, Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Juiz de Fora, 2018.

GERSCOVICH, Denise; SARAMAGO, Robson; RAGONI DANZIGER, Bernadete. **Contenções: teoria e aplicações em obras**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MOTA, Rodrigo Junqueira. **Análise de interação solo-estrutura de uma obra de contenção na cidade de Goiânia-GO**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

PINTO, Camila Patrícia Jeronymo. **Análise de estrutura com interação solo estrutura e as molas de Winkler**. Trabalho de conclusão de curso na área de estruturas, como resquisito parcial para conclusão do curso de engenharia civil da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.