

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GABRIEL SANTOS CASTRO

**USO DE CORTINAS DE CONCRETO EM EDIFICAÇÕES COM SUBSOLO NA
BAIXADA SANTISTA**

**Santos - São Paulo
Maio de 2019**

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GABRIEL SANTOS CASTRO

**USO DE CORTINAS DE CONCRETO EM EDIFICAÇÕES COM SUBSOLO NA
BAIXADA SANTISTA**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção do título de Engenheiro Civil à
Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade Santa Cecília, sob a orientação
do Professor Me. Pedro Manuel Mascarenhas
de Menezes Marcão e Coorientação do Eng^o
Civil André Luís Gomes Paes e do Professor
Hildebrando Pereira dos Santos Jr.**

**Santos - São Paulo
Maio de 2019**

GABRIEL SANTOS CASTRO

**USO DE CORTINAS DE CONCRETO EM EDIFICAÇÕES COM SUBSOLO NA
BAIXADA SANTISTA**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil à Faculdade de Engenharia da Universidade Santa Cecília.

Data de aprovação: ____/____/____ Nota: _____

Banca Examinadora

Professor Me. Pedro M. M. M. Marcão

Eng. André Luís Gomes Paes

Eng. Debora Losso Alves Miranda

Agradeço a Deus que fez com que eu mesmo cansado, exausto me deu força e inteligência para que eu não desistisse, agradeço também aos meus pais Wilson e Valquíria que me derem todo apoio e suporte ao longo desses anos, aos meu avô Gabriel *“in memorium”* e avós Raimunda e Odete que lá no fundo essa graduação também é por eles. A minha namorada Beatriz, que durante os últimos anos da graduação, acompanhou de perto todo o processo pelo qual passei até conseguir concluir o curso.

Agradecimento

Um agradecimento mais do que especial ao meu orientador o Professor Mestre Pedro Manuel Mascarenhas de Menezes Marcão pela orientação e indicação do tema, aos coorientadores o Engenheiro André Luís Gomes Paes que acompanhou todo o trabalho desde o início e foi de grande importância para este trabalho ao professor Engenheiro Hildebrando Pereira dos Santos Junior que aceitou um desafio na reta final já do trabalho para que pudesse concluir o trabalho com o melhor desempenho possível.

Fica também meu agradecimento as Professoras Dirce Carrega Balzan e Edith Silvana Amaury de Souza Tanaka, que tiveram sua participação em partes importantes do trabalho. Agradeço também ao Prof Dr Vitor da Silva Rosa, pelo auxílio na estruturação da organização do trabalho, e a todos os professores da Universidade Santa Cecilia que cada um a sua forma, contribuíram com os seus ensinamentos.

RESUMO

Com os lotes mobiliários saturados, uma solução para o crescimento populacional foi a verticalização das moradias, entretanto, as condições do solo, nem sempre são favoráveis para a construção, buscando alternativas, como a construção em encostas de morros e construções de subsolo para estacionamento. A utilização de cortinas duplas de concreto armado para contenção do solo surge como a melhor alternativa para a contenção dos solos da vizinhança como um todo, descartando o hábito construtivo na Baixada Santista da utilização de cortina de concreto moldada “*in loco*” com apoio em sapata corrida para a mesma aplicação. O objetivo do trabalho foi demonstrar a eficiência das cortinas duplas de concreto armado frente ao atual modelo que utiliza cortina de concreto moldada “*in loco*” com apoio em sapata corrida. Através de memoriais de cálculo já existentes e situações mencionadas na literatura sobre a utilização de sapatas corridas para a contenção do solo, analisar os seus defeitos, e com a confecção do memorial de cálculo referente ao tema do trabalho provando a sua eficácia. Para o dimensionamento do muro de arrimo a ser estudado foram utilizadas as teorias de Coulomb e Rankine, juntamente com o auxílio de *softwares* computacionais para a obtenção de resultados

Palavra-chave: muro de arrimo; cortina de concreto armado moldada “*in loco*”; cortina dupla de concreto armado; cortina de concreto armado estaqueada.

ABSTRACT

With saturated furniture lots, a solution for population growth was the verticalization of housing, however, soil conditions are not always favorable for construction, seeking alternatives such as construction on hillsides and subsoil constructions for parking. The use of double reinforced concrete curtains for soil restraint appears as the best alternative for the containment of the surrounding soils as a whole, ruling out the constructive habit in the Baixada Santista of the use of molded concrete curtain "in loco" with support stirp footing for the same application. The objective of this work was to demonstrate the efficiency of double reinforced concrete curtains in front of the current model that uses molded concrete curtain "in loco" with support in strip footing. By means of already existing calculation memorials and situations mentioned in the literature on the use of strip footing for soil containment, to analyze their defects, and with the preparation of the calculation memorial referring to the subject of the work proving its effectiveness. For the dimensioning of the retaining wall to be studied, the theories of Coulomb and Rankine were used, together with the aid of computational software to obtain results.

Key-words: Retaining wall; cast reinforced concrete curtain "in loco"; Double reinforced concrete curtain; stacked reinforced concrete curtain.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Linhas de ruptura de Coulomb	13
Figura 2 - Perfil do Muro de Arrimo Usual	16
Figura 3 - Pressões sobre um elemento de solo	17
Figura 4- Detalhe da trava para impedir escorregamento sem escala	19
Figura 5- Detalhamento da Cravação.(a). Início da Cravação do Primeiro Elemento;(b) Final da Cravação do Primeiro Elemento e (c) Início da Cravação do Segundo Elemento	20
Figura 6- Detalhe da emenda de perfil	21
Figura 7 - Corte mostrando o usual apoio da cortina de concreto.....	24
Figura 8 - Trinca na cortina de apoio da viga do Térreo.....	25
Figura 9 - Trinca no piso do subsolo (lado direito).	26
Figura 10 - Trinca no piso do subsolo (lado esquerdo).	27
Figura 11- Detalhe mostrando como é feita a escavação	28
Figura 12- Escavação cortina dupla de concreto armado	28
Figura 13 - Detalhe mostrando o trecho completo	29
Figura 14 - Detalhes do Perfil Metálico. (a) Perímetro Colado e (b) Área Circunscrita.....	31
Figura 15- Dimensões do Muro de Arrimo Usual	32
Figura 16- Modelagem da Cortina Dupla de Concreto Armado.....	33
Figura 17- Diagrama de Momento Fletor- Cortina Dupla de Concreto Armado.....	34

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações

- $^{\circ}$ é a simbologia de graus.
- A é a área dos elementos.
- a é o parâmetro para aplicação da resultante do empuxo pela teoria de Coulomb e é em função da altura.
- b é a relação entre a soma das cargas e a soma das cargas multiplicado pela distância até o centro de gravidade.
- c é o comprimento da base do elemento.
- e é a excentricidade.
- E_a é o empuxo ativo do solo.
- E_{ah} é a componente horizontal do empuxo ativo do solo.
- E_{ci} é o módulo de deformação tangente inicial do concreto.
- E_{cs} é o módulo de deformação secante do concreto.
- E_{av} é a componente vertical do empuxo ativo do solo.
- f_{ck} é a resistência característica do concreto a compressão.
- f_s é o fator de adesão da estaca com o solo.
- H é a altura do muro de arrimo.
- i é o ângulo de inclinação do terreno adjacente.
- k é uma variável em função do SPT.
- k_a é o coeficiente de empuxo ativo.
- kN é a unidade de força quilo-Newton.
- k_p é o coeficiente de empuxo passivo.
- L é a espessura da camada de solo.
- I determina o posicionamento geométrico da aplicação das forças em relação a base do muro.
- MPa é a unidade de MegaPascal.
- m é a unidade de metro.
- m² é a unidade de área.
- \bar{N} é a média dos SPTs.
- N_d é a verificação ao deslizamento.
- N_t é a verificação ao tombamento.

- PL é a carga no fuste da estaca, proveniente do atrito lateral.
- PP é a carga na ponta da estaca.
- PR é a carga de ruptura total.
- SPT é o valor obtido através do “*Standard Penetration Test*”.
- tf é a unidade de força tonelada-força.
- U é o perímetro colado da estaca.
- xi é a distância de um ponto conhecido a até o centro geométrico da figura.
- α_e é um parâmetro em função do agregado.
- α_i é um parâmetro de instabilidade inicial.
- β é o ângulo que o talude forma com a horizontal.
- γ é o peso específico do solo.
- γ_{conc} é o peso específico do concreto.
- γ_{eq} é o peso específico equivalente.
- σ_{adm} é a tensão admissível do solo.
- $\sigma_{m\acute{a}x}$ é a verificação de ruptura pela base ou fundação.
- σ_v é a tensão vertical.
- φ é o ângulo de atrito interno do solo.
- φ' é o ângulo de atrito entre o solo e o muro na direção do empuxo.
- φ'' é o ângulo de atrito entre o solo e base do muro.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO GERAL E ESPECIFICO.....	11
1.2 HIPÓTESE	12
1.3 DELIMITAÇÕES.....	12
2.METODOLOGIA	13
2.1 TEORIA DE COULOMB	13
2.2 TEORIA DE RANKINE	17
2.3 CORTINA DE CONCRETO.....	18
2.3.1 DETALHES CONSTRUTIVOS CORTINA DE CONCRETO.....	19
3.METODOLOGIA	22
3.1 SAP2000	23
4. ESTUDO DE CASO	24
4.1 CORTINA USUAL	24
4.2 CORTINA DUPLA DE CONCRETO ARMADO	28
4.3 SOLUÇÃO PROPOSTA.....	29
5. RESULTADOS	32
6.CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1.INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, a verticalização da moradia faz-se necessária, entretanto, as condições do solo nem sempre são favoráveis para a construção, buscando alternativas, como a construção em encostas de morros e construções de subsolo para estacionamento.

O tema foi escolhido por se tratar de algo recorrente nas construções, da região da baixada santista, acarretando inclusive em manifestações patológicas devido ao emprego da técnica incorreta para contenção do solo vizinho.

Segundo entrevista com o mestre em engenharia Pedro Marcão (2018) *“Sabe-se que grande parte das construções de edificações na Baixada Santista com subsolo utilizam estrutura de fundação do tipo cortina de concreto moldada “in loco” com apoio em sapata corrida, para a contenção do solo que foi retirado por escavação”*.

A utilização da cortina de concreto moldada *“in loco”* com apoio em sapata corrida causa um efeito patológico de recalque diferencial, por se ter a estrutura do edifício apoiada sobre fundação profunda, estacas, e a cortina moldada *“in loco”* estar apoiada sobre sapata do tipo corrida, esta diferença de tipo de fundação que ocasiona a manifestação patológica.

A utilização de cortinas duplas de concreto armado para contenção do solo surge como a melhor alternativa para a contenção dos solos da vizinhança como um todo, descartando o hábito construtivo da utilização de cortina de concreto moldada *“in loco”* com apoio em sapata corrida para a mesma aplicação, a qual acarreta em diversos problemas futuros, evitando assim as manifestações patológicas.

1.1 OBJETIVO GERAL E ESPECIFICO

Demonstrar a eficiência das cortinas duplas de concreto armado frente ao atual modelo utilizado que utiliza cortina de concreto moldada *“in loco”* com apoio em sapatas corrida.

Estudo de caso em que houve a execução de cortina apoiada em sapata corrida para contenção do solo vizinho, os seus defeitos, expondo como solução o tema mencionado.

1.2 HIPÓTESE

Este trabalho tem como fundamentação verificar a melhor solução técnica entre muro de arrimo, sapata corrida e cortinas duplas de concreto armado para contenção de solo em edificações que possuam subsolo.

1.3 DELIMITAÇÕES

Este trabalho tem o seu estudo aplicado somente a um estudo com base em solo granular (areia), e edificações com subsolo não superior a um pavimento.

2.METODOLOGIA

2.1 TEORIA DE COULOMB

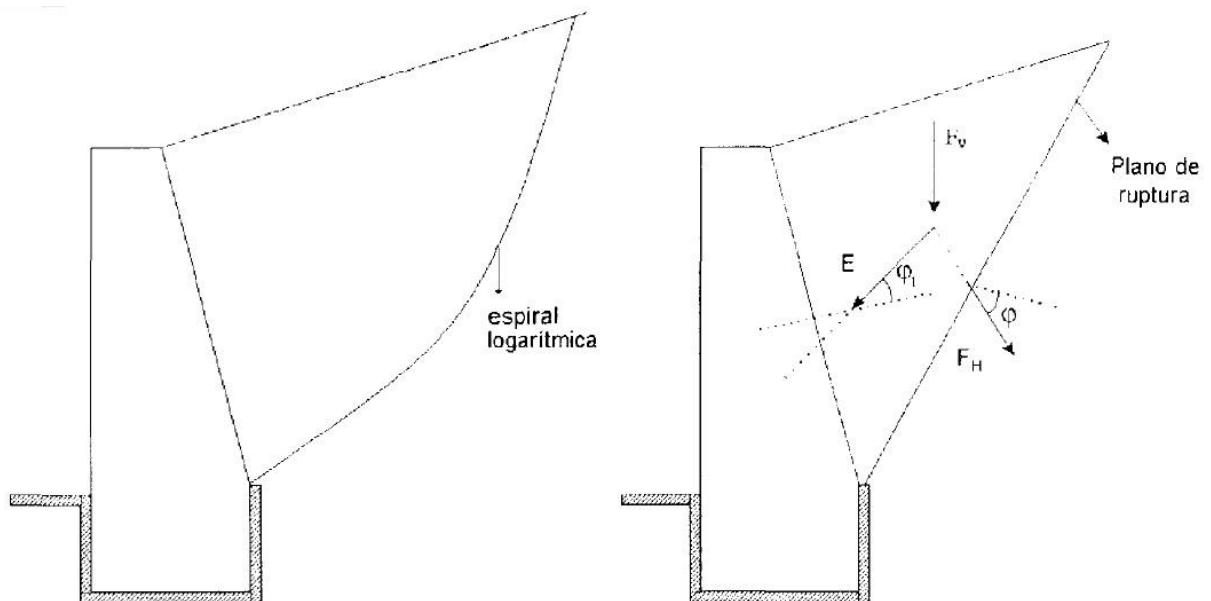
A estabilização do solo é um fator que vem sendo trabalhado ao longo dos anos, a fim de garantir que a estrutura a ser construída seja melhor aproveitada para garantir que não haja ruptura de taludes, causando acidentes que podem chegar a ser fatais.

Segundo Domingues (1997): Coulomb [1776] parte do princípio de que ocorre um deslizamento segundo uma superfície plana, devido a mobilização da resistência ao cisalhamento ou atito e , analisa as forças que agem na cunha limitada por esta superfície, pelo tardo e pela superfície do terrapleno.

Este deslizamento ocorre segundo uma superfície de curvatura em forma de espiral logarítmica, que é submetida, por motivos práticos, por uma superfície plana que passa a ser denominada plano de ruptura, plano de deslizamento ou plano de escorregamento (DOMINGUES,1997).

O plano de deslizamento é observado na Figura 1.

Figura 1- Linhas de ruptura de Coulomb



Fonte: DOMINGUES,1997

O empuxo faz com a normal ao paramento do lado da terra, um ângulo φ_1 (coeficiente de atrito entre a terra e o muro). As forças consideradas agindo sobre a cunha são o seu peso próprio (P), a reação do terreno (F_h) e a reação da estrutura de arrimo (E) (DOMINGUES,1997).

Esta grandeza “E” é considerada como uma pressão distribuída ao longo do muro, cujo diagrama de distribuição, para simplificação de cálculo é admitida linear (DOMINGUES,1997).

O ângulo que o talude forma com a horizontal (β) é determinado pela equação 1. O coeficiente de empuxo (k_a), o Empuxo ativo (E_a) e a suas compentes horizontais e verticais , E_{ah} e E_{av} respectivamente, e quando houver a presença de sobrecarga calcular o peso específico equivalente (γ_{eq}) segundo a teoria de Coulomb, é calculado pela equação 2, 3, 4, 5 e 6 (DOMINGUES,1997)

$$\beta = 90 - \varphi \quad (1)$$

$$k_a = \left[\frac{\operatorname{cosec} \beta \times \operatorname{sen} (\beta - \varphi)}{\sqrt{\operatorname{sen}(\beta + \varphi')} + \sqrt{\frac{\operatorname{sen} (\varphi + \varphi') \times \operatorname{sen}(\varphi - i)}{\operatorname{sen} (\beta - i)}}} \right]^2 \quad (2)$$

$$\gamma_{eq} = \gamma + \frac{2 * q}{H} \quad (3)$$

$$E_a = \frac{1}{2} * \gamma_{eq} * k_a * H^2 \quad (4)$$

$$E_{ah} = E_a * \cos \varphi \quad (5)$$

$$E_{av} = E_a * \operatorname{sen} \varphi \quad (6)$$

onde :

- i é ângulo de inclinação do terreno adjacente.
- β é o ângulo que o talude forma com a horizontal.
- φ é o ângulo de atrito interno do solo.
- φ' é o ângulo de atrito entre o solo e o muro (direção do empuxo).
- γ é o peso específico do solo.
- γ_{eq} é o peso específico equivalente.
- q é a sobrecarga.
- H é a altura total do muro de arrimo estudado.
- k_a é o coeficiente de empuxo ativo do solo.
- E_a é o empuxo ativo do solo.
- E_{ah} é a componente horizontal do empuxo.

E_{av} é a componente vertical do empuxo.

A teoria de Coulomb impõe três verificações que devem ser atendidas para que o muro seja aprovado e ambas verificações que são em relação ao tombamento do muro (η_t), o deslizamento (η_d) e a ruptura da base ou fundação ($\sigma_{m\acute{a}x}$), podem ser encontradas nas equações 7, 8 e 9.

$$\eta_t = \frac{Pxc + E_{av} \times b}{E_{ah} \times a} \quad (7)$$

$$\eta_d = \frac{(P + E_{av}) \times \text{tag}\varphi''}{E_{ah}} \quad (8)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P + E_{av}}{c} + \frac{(P + E_{av}) \times e}{\frac{c^2}{6}} \quad (9)$$

Onde:

η_t é a verificação ao tombamento do muro de arrimo

η_d é a verificação ao deslizamento do muro de arrimo

$\sigma_{m\acute{a}x}$ é a verificação da ruptura pela base ou fundação

P é o peso próprio do muro de arrimo

c é a base do muro de arrimo

E_{av} é a componente do empuxo vertical

b é a relação entre a soma das cargas e a soma das cargas multiplicado pela distância até o centro de gravidade.

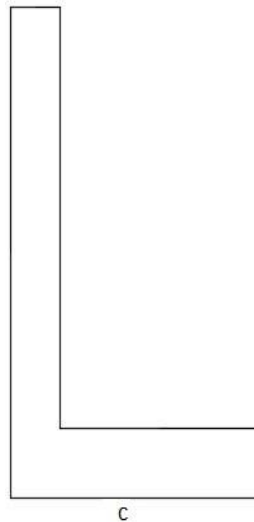
a é o parâmetro para aplicação da resultante do empuxo pela teoria de Coulomb e é em função da altura.

E_{ah} é a componente horizontal do empuxo

φ'' é a ângulo de atrito entre o solo e base do muro de arrimo

As verificações propostas por Coulomb envolvem parâmetros que podem ser analisados na Figura 2, que são em relação a geometria da peça que serão calculados pelas equações 10 e 11.

Figura 2 - Perfil do Muro de Arrimo Usual



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

$$l = \frac{P \times b + E_{av} \times c - E_{ah} \times a}{P + E_{av}} \quad (10)$$

$$e = \left| \frac{c}{2} - l \right| \quad (11)$$

Onde:

P é o peso próprio do muro de arrimo

c é a base do muro de arrimo

E_{av} é a componente do empuxo vertical

b é a relação entre a soma das cargas e a soma das cargas multiplicado pela distância até o centro de gravidade.

a é o parâmetro para aplicação da resultante do empuxo pela teoria de Coulomb e é em função da altura.

E_{ah} é a componente horizontal do empuxo

I determina o posicionamento geométrico da aplicação das forças em relação a base do muro.

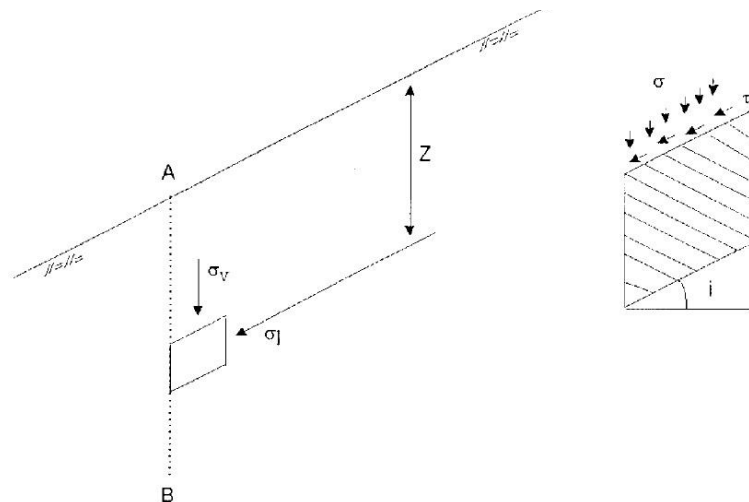
2.2 TEORIA DE RANKINE

De acordo com DOMINGUES (1997) a teoria baseia-se na hipótese de que uma ligeira deformação do solo é suficiente para gerar um estado limite plástico em toda a massa de solo que pode movimentar-se, atingindo a máxima resistência ao cisalhamento deste solo.

Esta mobilização pode produzir um estado ativo se o solo sofre expansão ou passivo caso o solo sofra retração.

Fazem-se assim necessárias algumas hipóteses para a utilização da teoria de Rankine, o que é analisado na Figura 3, desde que não haja percolação da água.

Figura 3 - Pressões sobre um elemento de solo



Fonte: GAIOTO, 1979 apud DOMINGUES,1997].

As pressões σ_v e σ_i , constituem um par conjugado de tensões. Fazendo uso da Teoria de Mohr, calcula-se σ_i , na condição de ruptura, provocada por um deslocamento do plano AB para a esquerda, ou para a direita, que produz expansão ou retração do solo (DOMINGUES,1997).

A partir dos valores das componentes normal (σ) e cisalhante (τ), da pressão vertical, lançados no círculo de Mohr, chega-se ao valor do coeficiente k através das relações geométricas (DOMINGUES,1997).

Segundo DOMINGUES (1997), os valores de coeficientes de empuxo ativo (k_a) e passivo (k_p) são calculados respectivamente pelas equações 12 e 13:

$$k_a = \frac{1 - \text{sen } \varphi}{1 + \text{sen } \varphi} \quad (12)$$

$$k_p = \frac{1 + \text{sen } \varphi}{1 - \text{sen } \varphi} \quad (13)$$

onde :

φ é o ângulo de atrito interno do solo;

2.3 CORTINA DE CONCRETO

A cravação das estacas metálicas com perfil HP é feita de forma continua com distância entre cada estaca com distância média de 1,20 m a 1,50 m (no nosso estudo de caso será usada a distância de 1,50 m). O terreno para a cravação das estacas precisa ter a características de solo granular (areia), não valendo o emprego desta técnica para solos argilosos, tem-se necessidade de verificação da capacidade de carga, que é feito “*in-loco*”. Após a cravação das estacas e verificação da capacidade de carga é feita a colocação das cortinas dupla de concreto armado de cima para baixo, sendo que na ponta da estaca existe uma trava (barra de aço), de forma a cortina inferior não consiga escorregar e se desligar do estaqueamento.

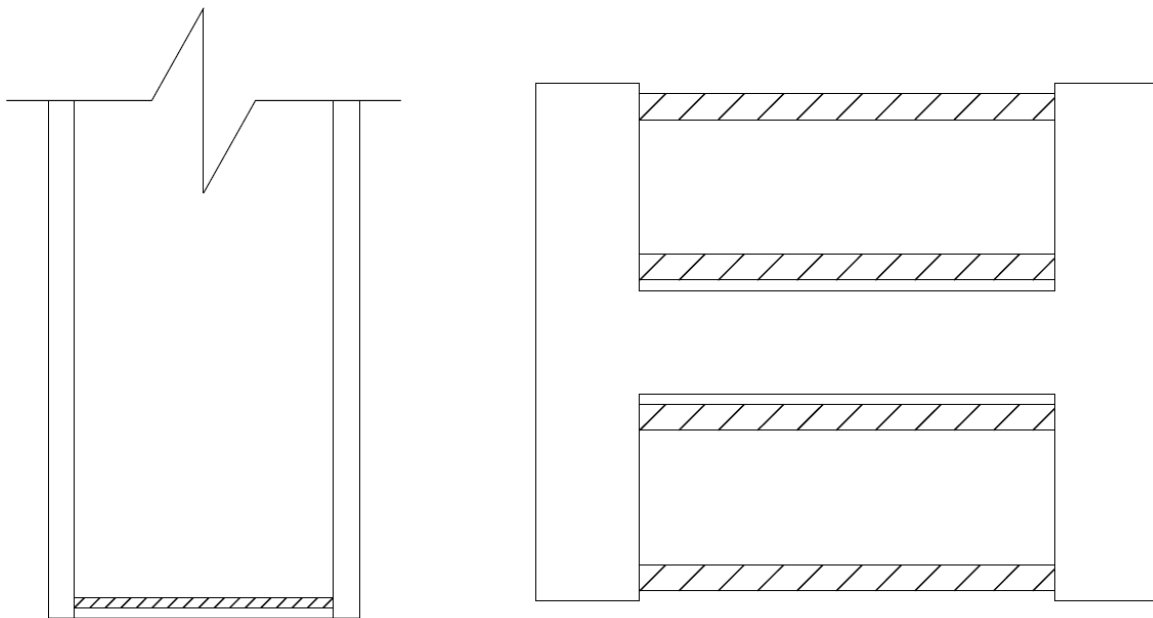
Para a colocação das estacas como se tem que retirar solo, o mesmo que está sendo retirado conforme as cortinas vão sendo instaladas o solo retirado vai sendo recolocado por trás da cortina (para fora do terreno). No topo da cortina é feita uma viga para apoiar a laje do térreo que chega na cortina de forma a fazer com que as cargas sejam transmitidas para as estacas metálicas, funcionando analogamente como as estruturas de concreto armado convencional, lajes descarregando nas vigas e as vigas por sua vez descarregando nos pilares, onde as estacas na analogia irão fazer o papel dos pilares.

2.3.1 DETALHES CONSTRUTIVOS CORTINA DE CONCRETO

A escavação das estacas metálicas, possuem alguns pontos que merecem um cuidado maior por se tratarem de detalhes e elementos não muito convencionais de execução que são:

Detalhe demonstrando como é feito o impedimento do escorregamento da cortina de concreto conforme Figura 4.

Figura 4- Detalhe da trava para impedir escorregamento sem escala



Fonte: AUTORIA PRÓPIA

O alojamento da cortina de concreto começa com a cravação da estaca metálica com perfil HP conforme reparado na Figura 5.

Figura 5- Detalhamento da Cravação.(a). Início da Cravação do Primeiro Elemento;(b) Final da Cravação do Primeiro Elemento e (c) Início da Cravação do Segundo Elemento



(a)



(b)

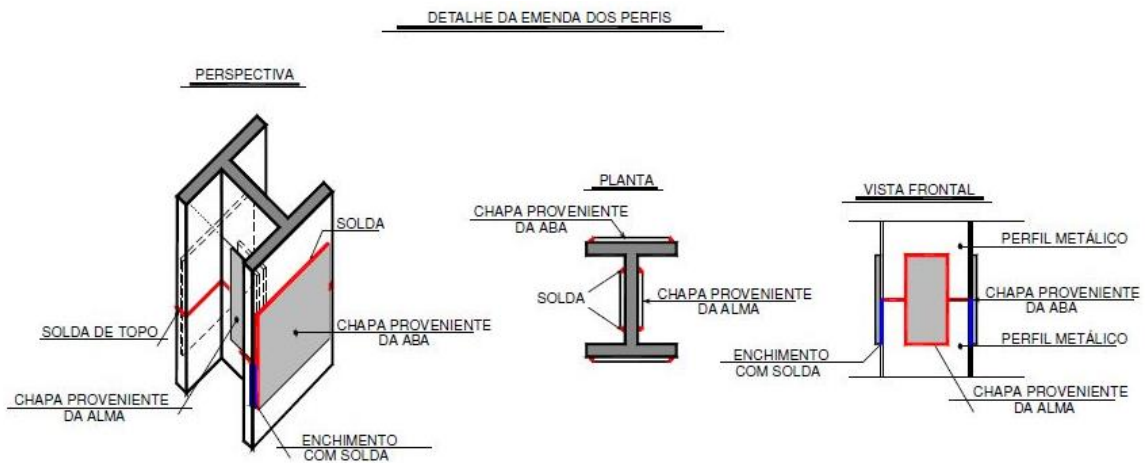


(c)

Fonte: FALCONI, PROVA DE CARGA ESTÁTICA INSTRUMENTADA EM ESTACA METÁLICA DE SEÇÃO DECRESCENTE COM A PROFUNDIDADE – ANÁLISE DE DESEMPENHO E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

De acordo com a Figura 4a, quando o primeiro elemento está próximo do seu final é necessário fazer a solda entre perfis para dar continuidade a cravação da estaca conforme é observado na Figura 6.

Figura 6- Detalhe da emenda de perfil



Fonte: FALCONI, PROVA DE CARGA ESTÁTICA INSTRUMENTADA EM ESTACA METÁLICA DE SEÇÃO DECRESCENTE COM A PROFUNDIDADE – ANÁLISE DE DESEMPENHO E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

3.METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa aplicada, com resultados quantitativos, exploratório através de um estudo de caso aplicando-se o método hipotético-dedutivo. O trabalho será executado a partir de pesquisas de campo com acesso a um projeto e laudo fornecido pelo orientador Me. Pedro Manuel Mascarenhas de Menezes Marcão.

Através de memoriais de cálculo já existentes e situações mencionadas na literatura sobre a utilização de sapatas corridas para a contenção do solo, analisar os seus defeitos, e com a confecção do memorial de cálculo referente ao tema do trabalho provando a sua eficácia.

Para o dimensionamento do muro de arrimo estudado foram utilizadas as teorias de Coulomb e Rankine indicadas pelo engenheiro civil Domingues (1997). Coulomb, parte do princípio de que ocorre um deslizamento segundo uma superfície plana, devido à mobilização da resistência ao cisalhamento ou atrito e, analisa as forças que agem na cunha limitada por esta superfície, pelo tardo e pela superfície do terrapleno. Já Rankine, porém, se baseia na hipótese de que uma ligeira deformação do solo, é suficiente para gerar um estado limite plástico em toda massa de solo que pode movimentar-se atingindo a máxima resistência ao cisalhamento deste solo. A fim de responder à hipótese, foram comparados memoriais de cálculo empregados tanto em sapata corrida, como em cortinas duplas, verificando a melhor solução técnica.

Os resultados serão apresentados através de memoriais de cálculo e desenhos esquemáticos

Apresenta-se duas soluções para o problema sendo analisado na primeira o uso da cortina de concreto moldada “*in loco*” apoiada em sapata corrida e a segunda solução que deu origem ao tema do trabalho analisando a cortina dupla de concreto armado apoiada em estacas metálicas e detalhamento da 2ª solução através do Software SAP2000.

3.1 SAP2000

“O SAP2000 é um programa de elementos finitos, com interface gráfica 3D orientado a objetos, preparado para realizar, de forma totalmente integrada, a modelação, análise e dimensionamento do mais vasto conjunto de problemas de engenharia de estruturas.

Desde simples modelos estáticos utilizados em análises 2D, a modelos mais complexos e de grandes dimensões que requerem análises avançadas não lineares, o programa SAP2000 é a solução mais eficiente e produtiva para os engenheiros de estruturas em geral. ” Segundo CSI, empresa responsável pela elaboração do Software.

$$E_{ci} = \alpha_e \times 5600 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (14)$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \times \frac{f_{ck}}{80} \quad (15)$$

$$E_{sc} = \alpha_i \times E_{ci} \quad (16)$$

Onde:

E_{ci} é o modulo de deformação tangente inicial do concreto.

E_{cs} é o módulo de deformação secante do concreto.

α_e é um parâmetro em função do agregado.

α_i é o parâmetro de instabilidade inicial

4. ESTUDO DE CASO

4.1 CORTINA USUAL

A execução de cortinas usuais é um processo que é empregado desde a década de 50, essa pratica da execução de cortina de concreto apoiada em sapata corrida é visto na Figura 7.

Figura 7 - Corte mostrando o usual apoio da cortina de concreto.



Fonte: Adaptado de Moliterno 2001

Conforme visto na Figura 6 observa-se que o edifício possui fundação profunda e a cortina de concreto para apoio da laje do térreo está apoiada sobre sapata corrida.

O emprego da técnica incorreta acarretou em alguns problemas por conta do recalque diferencial entra a cortina de concreto apoiada em sapata corrida e a estrutura do edifício com fundação profunda como pode-se verificar nas Figuras 8,9 e 10.

Figura 8 - Trinca na cortina de apoio da viga do Térreo



Fonte: Acervo pessoal do orientador

Figura 9 - Trinca no piso do subsolo (lado direito).



Fonte: Acervo pessoal do orientador

Figura 10 - Trinca no piso do subsolo (lado esquerdo).

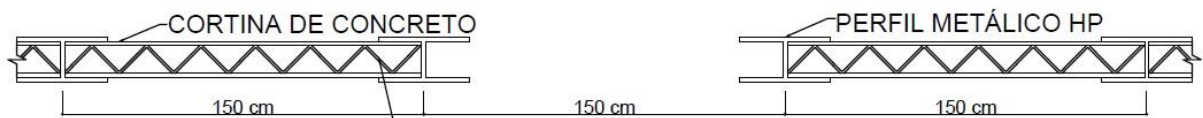


Fonte: Acervo pessoal do orientador

4.2 CORTINA DUPLA DE CONCRETO ARMADO

As cortinas duplas de concreto armado apoiadas em estacas metálicas com perfil HP, são executadas com a cravação das estacas com 12,0 m de profundidade e distâncias entre si de aproximadamente 1,60 m, sendo executado primeiramente um trecho, para garantir estabilidade do talude é necessário que seja fixada uma distância equivalente a distância entre estacas para a escavação das próximas estacas, fazendo trechos contínuos até completar a volta do perímetro conforme Figuras 11 e 12.

Figura 11- Detalhe mostrando como é feita a escavação



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

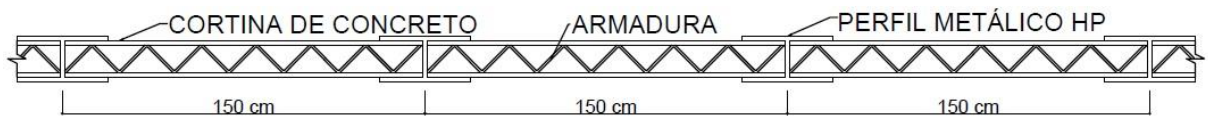
Figura 12- Escavação cortina dupla de concreto armado



Fonte: Acervo pessoal do orientador

Após a volta completa do perímetro, é feita a colocação das cortinas duplas nos trechos em que faltou por conta do método de execução conforme Figura 13.

Figura 13 - Detalhe mostrando o trecho completo



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

4.3 SOLUÇÃO PROPOSTA

O engenheiro FALCONI propõe no IV SEMINÁRIO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DO RIO GRANDE DO SUL, 2007. A utilização de estacas metálicas com seções decrescentes ao longo da profundidade, este uso se deve ao fato de que as estacas perdem ao longo de sua profundidade cerca de 70% a 80% da carga atuante na estaca, pelo atrito lateral, proveniente do contato da estaca com o solo, sobrando um restante da carga de 30% a 20% que é descarregado ao solo pelo fator de ponta da estaca.

Segundo FALCONI ainda, são utilizadas 4 formulas práticas que serão indicadas nas equações 17 a 20.

$$\left. \begin{array}{l} fs \\ \text{areias: } fs = 0,21 \times \bar{N} \end{array} \right\} \text{ argilas marinhas } \left\{ \begin{array}{l} \text{SPT médio} < 2 \rightarrow \frac{2tf}{m^2} \\ 2 < \text{SPT médio} < 4 \rightarrow \frac{3tf}{m^2} \\ 4 < \text{SPT médio} < 6 \rightarrow \frac{6tf}{m^2} \end{array} \right. \quad (17)$$

Onde:

fs é a adesão da estaca com o solo [tf/m^2].

SPT é o valor obtido através do ensaio "Standard Penetration Test"

\bar{N} é a média dos N SPTs na ponta e a 1,0m abaixo

$$PL = U \times \sum (L \times fs) \quad (18)$$

Onde:

U é o perímetro colado da estaca em metros;

L é a espessura da camada em metros;

PL é a carga no fuste da estaca, proveniente do atrito lateral;

$$PP = A_{\text{circ}} \times k \quad (19)$$

Onde:

A_{circ} é a área circunscrita do perfil metálico

k varia em função do STP do solo

$$k \begin{cases} 10 < N < 30 \rightarrow 200 < k < 400 \text{tf/m}^2 \\ 40 < N < 60 \rightarrow 1000 < k < 4000 \text{tf/m}^2 \end{cases}$$

PP é a carga na ponta da estaca

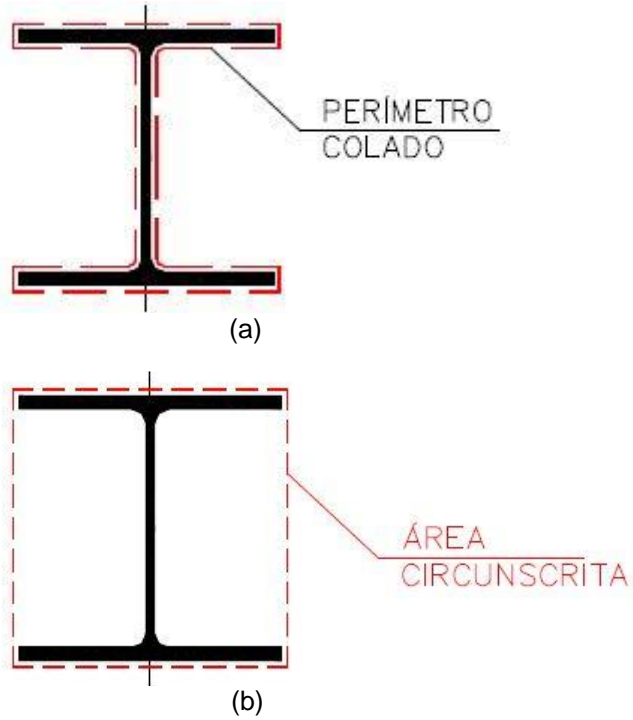
$$PR = PP + PL \quad (20)$$

Onde:

PR é a carga de ruptura total.

Os detalhes de perímetro colado e área circunscrita supracitados serão constatados nas Figura 14a e Figura 14b.

Figura 14 - Detalhes do Perfil Metálico. (a) Perímetro Colado e (b) Área Circunscrita



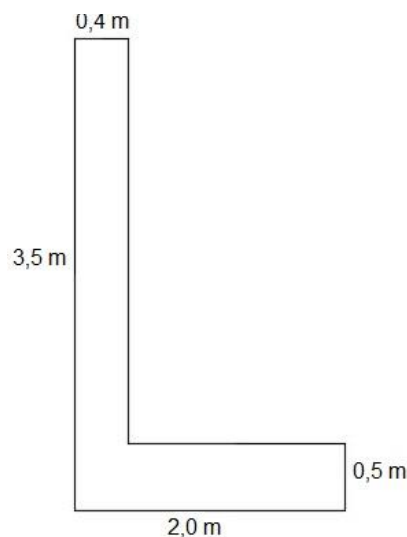
Fonte: IV SEMINÁRIO DE ENGENHARIA GEOTÉCINA DO RIO GRANDE DO SUL, 2007

5. RESULTADOS

A Cortina de concreto moldada “*in-loco*” com o apoio de sapata possui as dimensões da Figura 15 no memorial de cálculo.

Os parâmetros referentes ao solo considerados são, o ângulo de inclinação do terreno adjacente ao muro (i), que tem valor igual 0, por ser um terreno plano, o ângulo de atrito interno do solo, tem valor de 30° graus (φ), na direção por onde o empuxo atua existe um atrito do solo com o muro (φ'), com valor igual a 35° graus, o ângulo de atrito entre o solo e a base do muro (φ'') é de 30° , o peso específico do solo (γ), tem valor de 15 kN/m^3 , a altura do muro de arrimo (H) é de 2,7m e a σ_{adm} que o solo suporta é de 200 kN/m^2

Figura 15- Dimensões do Muro de Arrimo Usual



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Substituindo os dados nas equações 1 a 9 Obtém-se os valores para a inclinação do tardo (β) igual a 90° , para o coeficiente de empuxo ativo (k_a) resultou em um valor de 0,23 adimensional, o empuxo ativo do solo (E_a) teve um valor igual $37,23 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$, a componente horizontal do empuxo ativo do solo (E_{ah}) gerou um resultado de $30,50 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$, a parcela vertical do empuxo ativo do solo (E_{av}) teve um resultado de $18,61 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$. Os parâmetros de verificação ao tombamento (η_t), ao deslizamento (η_d) e a

ruptura pela base ($\sigma_{m\acute{a}x}$) chegou-se aos seguinte resultados respectivamente 4,36, 1,5 e 131,02 kPa, sendo os valor para, η_t e η_d adimensionais.

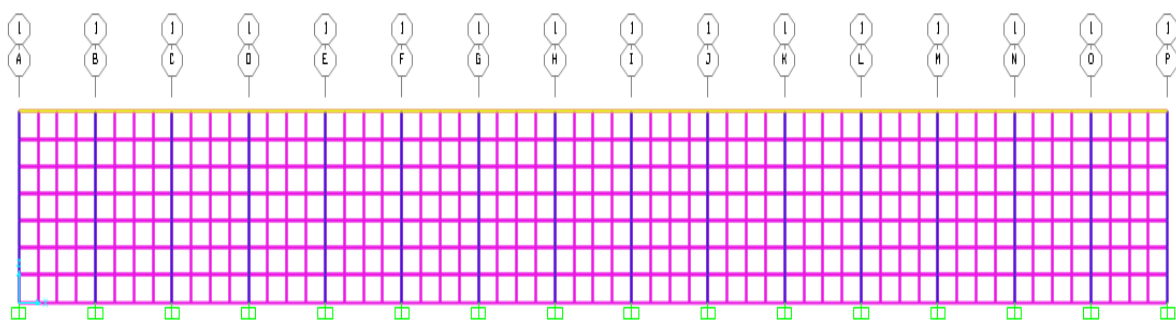
A cortina de dupla de concreto pré-moldada, foi dimensionada conforme memorial de cálculo, elaborado com a ajuda do *software* SAP2000.

A modelagem da no SAP2000 levou em consideração alguns dados necessários para o dimensionamento no software, foi considerado a resistência característica do concreto a compressão (f_{ck}) igual a 25 MPa, o parâmetro que varia em função do agregado (α_e), que iremos considerar com valor igual a 1, para granito e ganisse, por recomendação da NBR6118:2014.

Com as equações 14, 15 e 16, foi possível calcular respectivamente os parâmetros de modulo de elasticidade tangente inicial do concreto (E_{ci}), onde obteve-se um valor de $2,8 \times 10^7 \frac{kN}{m^2}$, para o parâmetro de instabilidade instabilidade inicial (α_i) chegou-se ao valor de 0,6 (adimensional) e para o módulo de elasticidade secante do concreto (E_{cs}) obteve-se o resultado de $2,4 \times 10^7 \frac{kN}{m}$.

Com os resultados das equações, os dados foram lançados no SAP2000 para definição do material e modelagem ficou conforme Figura 16

Figura 16- Modelagem da Cortina Dupla de Concreto Armado



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Conforme a Figura 16 temos, em rosa a malha de elemento finitos quadrada de lado 0,4m representadas pela cor rosa simulando o efeito das cargas aplicadas na cortina de concreto, o perfil metálico W250x38,5 representado na cor azul que são as

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao comparar os dois sistemas construtivos podemos afirmar que o modelo de cortina dupla de concreto armado pré-moldado é um modelo construtivo mais eficaz, por eliminar o efeito de patologia, por não ter diferentes tipos de elementos de fundação interagindo junto com a estrutura.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Análise do aspecto financeiro, comparando os custos envolvidos nos dois sistemas construtivos;

Verificação da aplicação em lugares distintos à Baixada Santista;

Estudar a viabilidade da aplicação do método estudado em solos com características argilosa;

Pesquisar a utilização de material ecológico/sustentável na substituição do concreto na cortina dupla;

Substituir o perfil metálico, por estrutura de concreto moldada "*in-loco*".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de Estruturas de Concreto- Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

COMPUTERS & STRUCTURES,INC PORTUGAL. **Fabricante do Software SAP2000**. <<https://www.csiportugal.com/software/2/sap2000>> Acesso em: MAIO/2019.

DOMINGUES, Paulo César. **Indicações para projeto de muros de arrimo em concreto armado**. 1997. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FALCONI,FREDERICO; PEREZ JR,WANDERLEY. “**PROVA DE CARGA ESTÁTICA INSTRUMENTADA EM ESTACA METÁLICA DE SEÇÃO DECRESCENTE COM A PROFUNDIDADE – ANÁLISE DE DESEMPENHO E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO**”. IV SEMINÁRIO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DO RIO GRANDE DO SUL,2007.

MARCÃO; P.M.M.M. Entrevista AGO/2018.

MOLITERNO; A. **Caderno de muros de arrimo**. 2001. 2ª edição.