

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG
HAMILTON KUREK JUNIOR
JUNIOR VICTORETTI ROSTIROLA

ELABORAÇÃO DE CARTILHA PARA AUXÍLIO NA ESCOLHA DE ARRIMO E
CONTENÇÃO PARA O SOLO DE CASCAVEL-PR.

CASCAVEL – PR

2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG
HAMILTON KUREK JUNIOR
JUNIOR VICTORETTI ROSTIROLA

ELABORAÇÃO DE CARTILHA PARA AUXÍLIO NA ESCOLHA DE ARRIMO E
CONTENÇÃO PARA O SOLO DE CASCAVEL-PR.

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz – FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Mestre Engenheiro Civil
Maycon André de Almeida

CASCAVEL – PR

2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

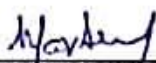
HAMILTON KUREK JUNIOR

JUNIOR VICTORETTI ROSTIROLA

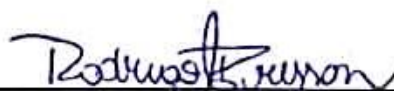
**ELABORAÇÃO DE CARTILHA PARA AUXÍLIO NA ESCOLHA DE ARRIMO E
CONTENÇÃO PARA O SOLO DE CASCAVEL-PR.**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor **Mestre Engenheiro Civil MAYCON ANDRÉ DE ALMEIDA**.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Profº. **Mestre MAYCON ANDRÉ DE ALMEIDA**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professor **Mestre RODRIGO TECHIO BRESSAN**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professor **Mestre GUILHERME IRINEU VENSON**
Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Engenheiro Civil

Cascavel, 06 de dezembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradecemos à Deus pela proteção e cuidado durante toda nossa caminhada até o presente momento.

De importância impar em nossas vidas, este trabalho vai para a honra e nome das nossas famílias, em especial aos nossos pais, que nos tem dado força e incentivo durante esses anos, a fim de concluirmos mais uma importante etapa.

Ao nosso professor e orientador, engenheiro civil Maycon André de Almeida, nossos mais sinceros agradecimentos. Obrigado por nos ensinar, inspirar e incentivar durante esse período de conclusão de curso. Sua dedicação será sempre lembrada durante nossa caminhada profissional.

A toda equipe do Centro Acadêmico Fundação Assis Gurgacz, pelo aporte necessário para nossa formação acadêmica durante os anos de discentes.

RESUMO

Considerando os danos causados a estruturas de arrimos e contenções devido a chuvas e má dimensionamento, o conhecimento sobre a dinâmica desse tipo de estrutura que irá conter o maciço de solo é de vital importância para seu bom desempenho e economia. Em vista disso, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma cartilha para auxiliar dimensionamento de estruturas de contenção e muros de arrimos usuais, tendo como base perfil típico do solo de Cascavel – Paraná. A metodologia do trabalho consistiu no estudo dos principais sistemas de contenções e muros de arrimos para o perfil de solo de Cascavel-PR, sendo eles: Cortina de estaca escavada, Muro de flexão em concreto armado, Muro de concreto ciclópico e muro de alvenaria, fazendo uma análise construtiva com posterior dimensionamento econômico dessas estruturas, com a utilização de programas conceituados no mercado que utilizam métodos clássicos difundidos na engenharia, como: Equilíbrio Limite (empuxo ativo), Rankine (empuxo passivo) Hansen (capacidade de suporte) e Bishop-Simplex (estabilidade global). Com os resultados obtidos foi possível a formulação de uma cartilha para auxílio no dimensionamento das estruturas.

Palavras chave: Contenção, estrutura de concreto, maciço de solo, muros de arrimo;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Envoltória de Mohr-Coulomb.	16
Figura 2: Tipos de empuxo.	18
Figura 3: Estrutura de talude.....	18
Figura 4: Cortina de estacas.....	20
Figura 5: Parede em balanço com ficha mínima.	20
Figura 6: Muro de concreto.	21
Figura 7: Muro de gravidade do tipo Gabião.	22
Figura 8: Muro de flexão com contraforte.	23
Figura 9: Cortina de estaca.	24
Figura 10: Curva granulométrica.	27
Figura 11: Ensaio triaxial.	28
Figura 12: 3 e 6 metros - estaca escavada.....	30
Figura 13: 9 metros - estaca escavada.	31
Figura 14: Dados solo.	32
Figura 15: Dados fundação.....	33
Figura 16: 1 e 4 metros - muro de flexão.....	34
Figura 17: Perfil 3 e 6 metros - Muro de Gabião.....	35
Figura 18: Perfil 1 e 3 metros - Muro de gravidade em concreto.	36
Figura 19: Pilares - Muro de alvenaria.	37
Figura 20: Empuxo do terreno - Muro de alvenaria.	37
Figura 21: 3D - Muro de alvenaria.1	38
Figura 22: Círculo de deslizamento 3 metros - Estaca escavada.	39
Figura 23: Círculo de deslizamento 6 metros - Estaca escavada.	40
Figura 24: Círculo de deslizamento 9 metros - Estaca escavada.	41
Figura 25: Círculo de deslizamento 1 metros - Muro de flexão.	42
Figura 26: Armadura 1 metro - Muro de flexão.....	43
Figura 27: Círculo de deslizamento 2 metros - Muro de flexão.....	43
Figura 28: Armadura 2 metros - Muro de flexão.....	44
Figura 29: Círculo de deslizamento 3 metros - Muro de flexão.....	44
Figura 30: Armadura 3 metros - Muro de flexão.....	45
Figura 31: Círculo de deslizamento 4 metros - Muro de flexão.	46
Figura 32: Armaduras 4 metros - Muro de Flexão.	47
Figura 33: Cunha de deslizamento 3 metros - Muro de Gabião.	47

Figura 34: Cunha de deslizamento 6 metros - Muro de Gabião.	48
Figura 35: Cunha de deslizamento 9 metros - Muro de gabião.	48
Figura 36: Cunha de deslizamento 1 metro - Muro de gravidade em concreto.	49
Figura 37: Cunha de deslizamento 3 metros - Muro de gravidade em concreto.	50
Figura 38: Estrutura final - Muro de arrimo de alvenaria.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Índices físicos.	27
Tabela 2: Grau de segurança.....	29
Tabela 3: Alturas das contenções e muros de arrimo.....	29
Tabela 4: Informação dos tirantes.	31
Tabela 5: Camadas– Muro de Gabião.....	35
Tabela 6: Camadas 3 metros - Muro de gravidade em concreto.	36
Tabela 7: Armaduras 3 e 6 metros – Estaca escava.	40
Tabela 8: Armaduras 9 metros - Estaca escavada.....	41
Tabela 9: Resultados - Muro de Gabião.....	49
Tabela 10: Resultados - Muro de gravidade de concreto.	50
Tabela 11: Armaduras pilares - Muro de arrimo de alvenaria.	51
Tabela 12: Armaduras vigas - Muro de arrimo de alvenaria.	52

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	10
1.1 INTRODUÇÃO	10
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo geral.....	11
1.2.2 Objetivos específicos	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	11
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	12
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE.....	12
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	12
CAPÍTULO 2	14
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1.1 Solo.....	14
2.1.1.1 Solos lateríticos	15
2.1.1.2 Solos colapsíveis.....	15
2.1.2 Resistência ao cisalhamento	16
2.1.3 Intercepto de coesão e ângulo de atrito	16
2.1.4 Estruturas de contenção, muro de arrimo e talude.....	18
2.1.4.1 Método executivo muros de arrimo.....	20
2.1.4.1.1 Muros de Concreto.....	20
2.1.4.1.2 Muro de gravidade – Gabião.....	22
2.1.4.1.3 Muro de Flexão.....	22
2.1.4.2 Cortina de estaca escavada <i>in loco</i>	23
CAPÍTULO 3	25
3.1 METODOLOGIA	25
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa.....	25
3.1.2 Caracterização do solo de Cascavel-PR	26
3.1.2.1 Solos compactados.....	28
3.1.2.2 Estabilidade de Taludes.....	28
3.1.3 Modelagem numérica.....	29
3.1.3.1 Contensões	30
3.1.3.2 Muro de Arrimo.....	32
3.1.3.2.1 Muro de Flexão.....	32
3.1.3.2.2 Muro de gravidade em gabiao.....	34

3.1.3.2.3 Muro de gravidade em concreto	35
3.1.3.2.4 Muro de flexão em alvenaria	36
CAPÍTULO 4	39
4.1 DISCUSSÕES E RESULTADOS	39
4.1.1 Cortina de estaca escavada espaçada.....	39
4.1.2 Muro de flexão sem contraforte.....	42
4.1.3 Muro de Gabião	47
4.1.4 Muro de gravidade em concreto	49
4.1.5 Muro de arrimo de alvenaria	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICE	58

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da frota de automóveis nas grandes cidades do país, faz-se necessário a construção de subsolos para garagem ou até mesmo estruturas para conter encostas de novas rodovias. De acordo com dados fornecidos pelo Departamento Nacional de Trânsito (Denatran), na última década, quebrou-se o recorde de veículos no Brasil, totalizando 64.817.974 em todo o território nacional.

Para que se possa trabalhar de maneira segura em profundidade e que, posteriormente, a obra não sofra com a ação do solo ao seu redor, se faz necessária a realização de estruturas dimensionadas para conter o solo, sem prejudicar estrutural ou esteticamente a edificação. Essas estruturas são conhecidas como arrimos ou contenções.

Apesar de haver inúmeros sistemas para conter maciços de solo, essa prática não é nova, era realizada em 3.000 a.C, pelos mesopotâmicos, de forma mais primitiva. Naquela época era realizado paredão de argilas para conter volumes de solo. Engenheiros franceses aprimoraram técnicas e no século 16, na Europa colonizadora, foi explorado esse conhecimento fortificando territórios militares nos mais diversos terrenos do mundo. No século 19 essas estruturas chegaram ao Brasil, com a vinda da Coroa Real, em contenções de obras urbanas e portuárias, nos estados da Bahia e Rio de Janeiro (RANZINI E NEGRO, 1998).

Contenções e arrimos são estruturas dimensionadas em projeto para suportar as cargas que vêm da pressão exercida pelo solo e seus agravantes, como a presença de água, que tira o contato entre os grãos e com isso deixa um solo com menor resistência. Apesar da similaridade quanto à finalidade, essas estruturas possuem diversos sistemas diferentes, sendo que cada um se comportará melhor em determinada situação, a depender do tipo de solo empregado e também da altura do maciço de solo que deverá suportar.

Arrimo é uma estrutura que pode ser construída inclinada ou na vertical, com uma altura relativamente baixa, geralmente de 5 a 8 metros. Contenção é uma estrutura construída na vertical, atingindo alturas maiores que arrimos, podendo ser auxiliada por estruturas de reforço, como tirantes.

Sendo assim, o intuito do trabalho é elaborar uma cartilha para auxílio na escolha do tipo de contenção e arrimo a ser utilizado, baseada em fatores técnicos e nas características do solo de Cascavel/PR, de maneira ter mais economia e segurança nas obras de terra da região.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Elaborar uma cartilha técnica para auxílio na escolha do sistema de contenção ou arrimo, considerando simulações realizadas no *CypeCad* e *GawacWin* de contenção e arrimos em de perfil típico do solo de Cascavel/PR.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar os sistemas de contenções e arrimos clássicos da bibliografia, sendo eles: Cortina de estaca escavada espaçada, Muro de Flexão em concreto, Muro de Gabião, Muro de concreto ciclópico, Muro de alvenaria;
- Apresentar métodos construtivos e características de cada sistema apresentado no trabalho;
- Dimensionar as estruturas através de *software*, para estudo de caso hipotético, tanto para arrimos, quanto para contenções;
- Apresentar resumo de dimensionamento em forma de cartilha.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com a execução de corte de solo, sejam quaisquer finalidades que se possa apresentar numa obra, se faz necessárias impedir o avanço do maciço de solo ao redor, evitando assim acidentes que possam ser fatais ou que possam prejudicar a edificação, tanto no processo construtivo, quanto na vida útil da mesma. Tendo em vista a importância dessa etapa, o tema foi escolhido para criar um material que pudesse auxiliar futuros profissionais

na escolha e dimensionamento do melhor sistema de arrimo ou contenção, considerando o solo da região.

Do ponto de vista científico, o trabalho tem como finalidade se aprofundar no tema para que engenheiros, acadêmicos e técnicos da área possam tê-lo como fonte de pesquisa para essa etapa construtiva, que é tão essencial para uma obra, desde as de pequeno até as de grande porte, visando a segurança e desempenho.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

É possível sintetizar a escolha do Muro de arrimo ou contenção para o solo de Cascavel-PR?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Atualmente na cidade de Cascavel – PR existem várias obras que têm a necessidade de fazer algum tipo de contenção e arrimo. Dependendo da altura, tipo de solo e vários outros fatores, normalmente torna-se difícil identificar o melhor tipo de contenção e arrimo, para cada situação, de maneira a ter maior economia e segurança.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será limitada ao estudo dos tipos de muros de arrimo e contenções características da região de Cascavel-PR, sendo eles: Cortina de estaca escavada, Muro de flexão em concreto armado, Muro de concreto ciclópico e muro de alvenaria. O estudo aprofundado será realizado através da bibliografia, trabalhos de conclusão de curso, artigos e *softwares* de análise estrutural e geotécnico, como o *GawacWin 2.0* e *CypeCad*.

Para o dimensionado das estruturas apresentadas, a consideração de casos específicos será com dados reais obtidos com o solo do Campo Experimental de Engenharia Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEF), que apresenta solo representativo da cidade Cascavel/PR. Será utilizado profundidades diversas, variando as alturas dos maciços de solo que será contido, para analisando como cada sistema irá se comportar.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Solo

O solo, numa visão mais simples, é a camada que recobre a superfície da terra. Trata-se de um aglomerado granular composto de matérias orgânicas e minerais, que dão características a ele. Segundo Caputo (2000), os solos são materiais constituídos a partir da decomposição das rochas através da meteorização do intemperismo (físico e químico).

Intemperismo físico vem através da ação de agentes como água, vento, vegetação e temperatura que transformam a rocha em pedregulhos, areias, siltes e em casos excepcionais, argilas. A variação de temperatura no decorrer do dia (manhã e noite) faz com que ocorra dilatação da rocha, tornando mais suscetível à entrada de água, que por sua vez dentro do maciço faz a desagregação do corpo rígido (CAPUTO, 2000).

Intemperismo químico é o processo onde há modificação química ou mineralógica da rocha de origem, causada principalmente pela ação da água através da oxidação, hidratação e carbonatação. A água, em níveis moleculares, entra em contato com os minerais presentes na rocha, desagregando esses minerais e tornando a rocha mais frágil, suscetível ao intemperismo físico (CAPUTO, 2000).

Normalmente esses processos acontecem de forma simultânea, porém em determinados locais e condições climáticas um processo pode sobrepor o outro. O solo é, em sua constituição, um conjunto de minerais que constituíam a rocha mãe e de diferentes agentes de alteração.

Pinto (2006) comenta o quão importante é o conhecimento a respeito da origem do solo, dizendo que em alguns casos o seu conhecimento é tão ou mais importante que a classificação do solo, do ponto de vista da sua constituição física.

O objetivo da classificação dos solos, do aspecto da engenharia, é poder estimar o provável comportamento do solo. A classificação dos solos pela origem tem uma grande importância para entender o seu comportamento, as quais são divididas em dois grandes grupos: solos residuais e solos transportados, tendo ainda os solos orgânicos (PINTO, 2006). Para Caputo (2000), dentro do grupo de solos residuais podemos encontrar ainda duas subdivisões: lateríticos e colapsíveis.

Pinto (2006) mostra que solos residuais são aqueles que foram decompostos de rochas predominantes do local. Por consequência, esse tipo de solo traz consigo fortes características da rocha que lhe deu origem.

Solos transportados, como o próprio nome sugere, foram transportados de um local para outro, fazendo com que ele não possua características da rocha predominante no local. Quanto aos agentes de transportes principais temos: eólicos (vento), coluviões (gravidade), aluviões (água) e Glaciais (geleiras).

Os solos orgânicos são aqueles com quantidades consideráveis de matéria orgânica decorrente da decomposição de origem vegetal ou animal, geralmente são formados por areias finas ou argilas. No território Brasileiro podem ser encontrados no litoral, margens de rios e lagos (PINTO, 2006).

2.1.1.1 Solos lateríticos

Para Pinto (2015) solos lateríticos são característicos de locais com clima quente, com chuvas de moderadas a intensas. Esse tipo de solo geralmente se apresenta na forma não saturada, com elevado índices de vazios, justificando sua pequena capacidade de suporte, já que esse elevado índice atrapalha o atrito entre os grãos de solo. Porém, quando adensados, ganham considerável capacidade de suporte.

Assim sendo, apresentam contração com a diminuição do teor de umidade, sem que apresente expansão na presença de água. São solos superficiais, resultantes desagregação da parte superior do subsolo. No Processo de laterização o solo é enriquecido com óxidos hidratados de alumínio e ferro, conferindo ao solo coloração característica: vermelho, amarelo, marrom ou laranja.

2.1.1.2 Solos colapsíveis

Também conhecidos como solos porosos, são solos não saturados que apresentam uma considerável e rápida compressão quando submetida a um aumento de umidade sem que varie a tensão total a que estejam submetidos. Pinto (2006) diz que essa ruptura, chamada de colapso deve à destruição dos meniscos capilares, responsáveis pela tensão de sucção, ou a um amolecimento do cimento natural que mantinha as partículas e as agregações de partículas

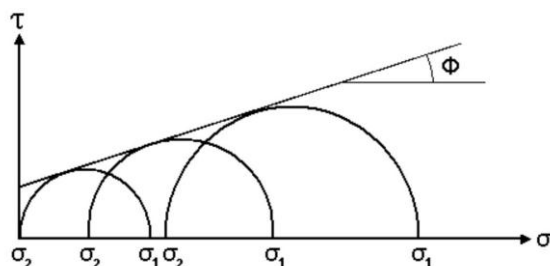
unidas. Fisicamente, o fenômeno do colapso está intimamente associado ao da perda de resistência dos solos não saturados.

2.1.2 Resistência ao cisalhamento

Resistência ao cisalhamento de um solo é a tensão máxima que um solo pode suportar, em qualquer direção, sem que haja a ruptura do mesmo, quando isso ocorre, a resistência do solo foi mobilizada. Essa resistência ao cisalhamento do solo vem da relação entre o atrito do solo, coesão e a tensão aplicada nesse solo (SIMONS e MENZIES, 1981).

A resistência ao cisalhamento de um solo pode ser determinada levando em consideração o critério da envoltória de Mohr-Coulomb, que é definido por uma reta em que o ângulo de inclinação representa o ângulo de atrito interno do solo e o intercepto a coesão (BUENO E VILAR, 2004), como na Figura 1.

Figura 1: Envoltória de Mohr-Coulomb.



Fonte: Autores, 2018

2.1.3 Intercepto de coesão e ângulo de atrito

Atrito é o resultado da interação de duas superfícies na região de contato. Para o entendimento do atrito interno, é necessário entender o “atrito físico” entre suas partículas, que é a relação entre uma partícula e outra, como também o “atrito fictício” proveniente da relação entre os grãos de solo, pois os grãos de solo são formados por superfícies irregulares, causando uma infinidade de contatos pontuais (CAPUTO, 2000).

Segundo Vargas (1977), a coesão é a resistência que as partículas argilosas emprestam ao solo, dando a ele a capacidade de se manter coeso em forma de torrões ou blocos. Os solos que possuem essa característica chamam-se coesivos. Os solos não coesivos,

que são areias puras (a exemplo, areia de praia) e pedregulhos, esfarelam-se facilmente ao serem cortados ou escavados.

Para a coesão também é necessário o entendimento das suas divisões, que são: “coesão aparente” e “coesão verdadeira”. A primeira trata da pressão capilar da água quando em contato com o solo, atribuindo a ele uma coesão temporária, porém, com a saída da água, o solo perde essa coesão e volta ao estado normal. Um representante desse grupo é a areia de praia (CAPUTO, 2000).

A segunda está relacionada ao entrosamento eletroquímico de atração entre as partículas de argila, que atribui ao solo uma coesão permanente, deixando um solo firme, possibilitando a abertura para estaca sem que o solo desmorone. Representando esse grupo temos as argilas (CAPUTO, 2000).

2.1.4. Empuxo

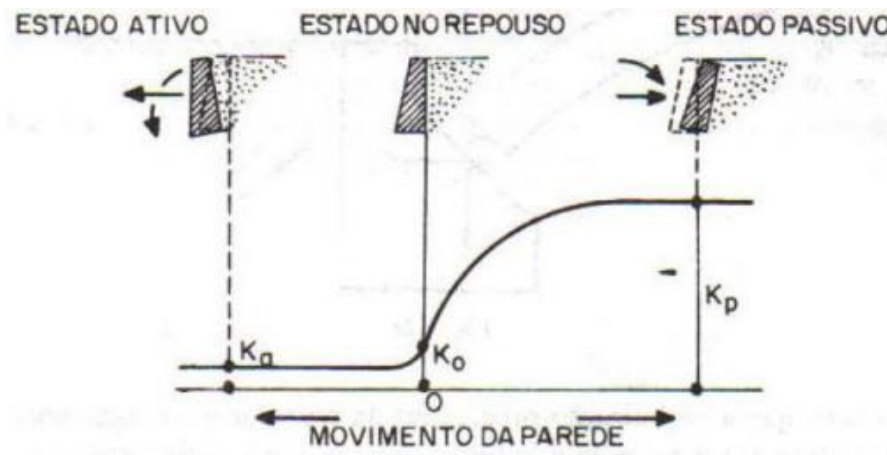
Quando é realizado corte ou aterro em um terreno, modificando assim a estrutura e estado natural do mesmo, muda-se também as forças internas do maciço. Ao realizar um muro de arrimo ou contenção, o maciço de solo que está em contato com a estrutura exerce uma força contra a estrutura, a essa força dá-se o nome de empuxo (MOLITERNO, 1994).

Empuxo, de acordo com Moliterno (1994) pode ser classificado de dois tipos: “empuxo ativo” e “empuxo passivo”. O primeiro tipo é resultante da pressão do solo contra a estrutura, no sentido de empurrar a estrutura e assim aumentar seu volume de vazios horizontalmente. O segundo tipo é resultante da pressão da estrutura contra o solo, no sentido de empurrar o solo e assim diminuir seus volumes de vazios horizontalmente.

Pinto (2006) completa dizendo que existem três condições de empuxo: “Estado ativo”, “Estado no repouso” e “Estado passivo”. Como única diferença está o estado no repouso do empuxo, onde existe uma relação onde as forças se equivalem e não há modificação da estrutura ou do maciço de solo, mostrado na Figura 2.

De acordo com Pinto (2006), a relação entre a tensão horizontal efetiva e a tensão vertical efetiva é denominada como coeficiente de empuxo em repouso, indicada pelo símbolo K_0 .

Figura 2: Tipos de empuxo.



Fonte: Pinto, 2006.

2.1.4 Estruturas de contenção, muro de arrimo e talude

A fim de facilitar o entendimento da separação existente entre talude, arrimo e contenção, esse trabalho traz um tópico com esse tema fundamental para a compreensão da proposta futuramente.

Do ponto de vista de Caputo (2000), talude é qualquer estrutura inclinada que tem por função limitar um maciço de terra, de rocha ou de terra e rocha. Essas estruturas podem ser naturais, como encostas, ou artificiais, como os taludes de corte e aterro, usualmente empregado em estradas como mostrado na Figura 3.

Figura 3: Estrutura de talude.



Fonte: Autores, 2018.

Muro de arrimo é um meio que o engenheiro possui para realizar contenções de solo dando uma maior estabilidade nas cargas atuantes chegando mais próximo ao valor dos

esforços que tentam deslizar o solo contra a estrutura, permanecendo em repouso. Sua estrutura corrida de contenção pode ser constituída de paredes verticais ou quase verticais, sendo apoiada numa fundação rasas ou profunda.

Segundo Adão e Hemerly (2010) muitas vezes o muro de arrimo é só um detalhe dentro de uma estrutura muito maior, sendo assim, dispõe-se de muros de arrimos ligados a outras estruturas. Se diferente, ou seja, se o muro de arrimo for a única obra a ser feita, o tipo de muro é classificado como isolado.

O muro de arrimo pode ser constituído em alvenaria (de tijolos ou pedras), concreto (simples ou armado) ou ainda de elementos especiais e variados. Sua aplicação é muito encontrada principalmente em áreas urbanas, estradas, pontes e de estabilidade de encosta.

De acordo com Jr e Ranzini (1998), contenções são elementos ou estruturas que tem como destino contrapor o empuxo ou tensão gerada em um maciço de solo, onde a condição de equilíbrio foi alterada por algum tipo de escavação, corte ou aterro. Para esse sistema de contenção é estudado a resistência do solo e sua capacidade de carga, se diferencia do sistema anterior, pois o primeiro é mais usado para conter inclinações superiores onde normalmente o espaço é curto.

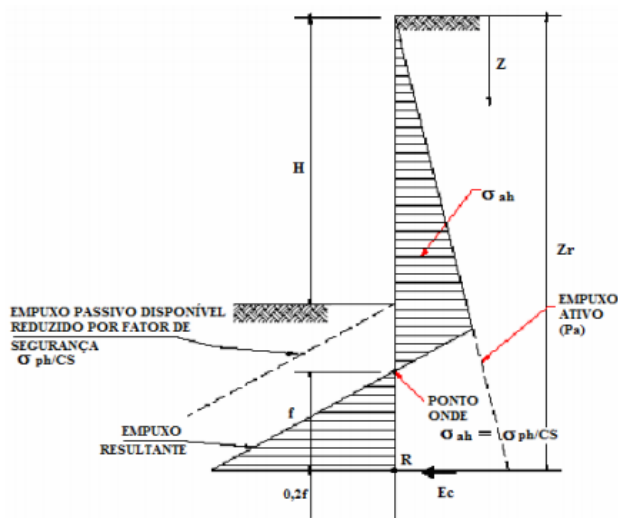
São estruturas que resistem ao empuxo devido ao seu engastamento no solo, e sendo assim, é necessário existir uma “ficha” mínima para se obter o equilíbrio da parede. Esta “ficha” é definida como sendo o comprimento mínimo de embutimento no solo abaixo do fundo da escavação que garante o equilíbrio com uma margem de segurança adequada. Como mostrado na Figura 4 e Figura 5.

Figura 4: Cortina de estacas.



Fonte: Autores, 2018.

Figura 5: Parede em balanço com ficha mínima.



Fonte: Marzionna et. al, 1998.

Atualmente existem diversos métodos construtivos de contenções e muros de arrimo. Para contenções, os mais usuais na cidade de Cascavel é a cortina de estaca escavada, podendo ser com ou sem tirantes, dependendo do porte da estrutura e suas necessidades.

2.1.4.1 Método executivo muros de arrimo

2.1.4.1.1 Muros de Concreto

Estrutura construída a partir do preenchimento de formas com camadas de concreto e blocos de matacões. O concreto é despejado em camadas de 50 centímetros, com a devida vibração, a fim de evitar patologias. Os matacões são colocados manualmente, a cada 15 centímetros um do outro, a fim de manter um emparelhamento. Apesar de ser colocado separadamente, o cálculo do concreto leva em consideração o matacão.

Por ser construído de um material impermeável, se torna imprescindível a realização de um sistema de drenagem adequado. A limitação desse sistema está em alturas máximas de 5 metros.

A seção transversal é usualmente trapezoidal, podendo ser com faces inclinadas ou com degraus, isso vai trazer variação no custo, mostrado na Figura 6. A largura da base deve ser aproximadamente 50% da altura da estrutura. Para estruturas com face plana na vertical, é recomendado uma inclinação de 2 graus com a vertical em direção ao retro aterro, a fim de evitar uma sensação visual de tombamento.

Quanto ao sistema de drenagem, uma alternativa é utilização de uma manta geotêxtil na face posterior da estrutura, de forma a conduzir a água até os barbacãs, para retirara a agua do maciço, a fim de evitar deterioração do material.

Figura 6: Muro de concreto.



Fonte: Autores, 2018.

2.1.4.1.2 Muro de gravidade – Gabião

Esse sistema de arrimo é construído basicamente por dois elementos: malha de aço hexagonal e pedras. A malha de aço hexagonal deve ser galvanizada e torcida duas vezes, essa estrutura metálica deve apresentar alta resistência mecânica, para isso a dupla torção, prevendo o caso de uma ruptura em um dos arames, a dupla torção consiga trabalhar normalmente, mantendo a flexibilidade da malha. A galvanização cumpre o papel de proteger essa malha de intemperes e ação da água.

As pedras são alocadas manualmente dentro da “gaiola” feita com os arames, como representado na Figura 7. Um gabião usual é constituído de duas gaiolas, no formato de um quadrado de 1 metro de aresta, postas lado a lado, totalizando 2 metros de comprimento. O tamanho do gabião pode ser alterado de acordo com a necessidade da obra (MACCAFERRI, 1990).

Figura 7: Muro de gravidade do tipo Gabião.



Fonte: Autores, 2018.

2.1.4.1.3 Muro de Flexão

Muros de flexão são estruturas em formato de “L”, mais esbeltas e que suportam o maciço de solo através de flexão, utilizando a parte do peso do próprio maciço, que se apoia na base da estrutura, para resistir ao empuxo.

De uma maneira geral, são constituídos de concreto armado, devido a isso, essa estrutura se torna inviável para alturas maiores que 7 metros. Por se tratar de uma estrutura

que suportará esforços de tração, concreto armado é uma saída técnica. Na parte vertical do muro, recomenda-se execução de pilares e viga, podendo ser usado blocos canaletas para execução de vigas. A armação metálica dos pilares deverá estar presas à base da estrutura.

Uma saída para casos de alturas superiores às citadas, é a utilização de contrafortes, que são estruturas auxiliaadoras na flexão através de esforços de tração ou compressão (dependendo da posição da laje). Os contrafortes são espaçados, em geral, cerca de 70% da altura da estrutura, também deve ser realizado de concreto armado, principalmente se resistir a esforços de tração. Usualmente na cidade de Cascavel não é utilizado contraforte, portanto, não será dimensionado com essa estrutura. Segue Figura 8 ilustrando muro de flexão.

Figura 8: Muro de flexão com contraforte.



Fonte: Sope Engenharia, 2012.

2.1.4.2 Cortina de estaca escavada *in loco*

A estaca moldada “*in loco*” pode ser: escavada, por hélice contínua ou raiz. Por ser solicitada por esforços laterais, uma estaca de concreto deve estar armada ao longo de todo comprimento (fuste). O dimensionamento para as três é feito da mesma forma, sendo que se diferem apenas no processo executivo, por conta disso, estacas feitas por hélices contínuas devem ter cuidado com o traço de concreto, devido a colocação de a armadura ser posterior à concretagem (BRASFOND, 2002).

A perfuração é efetuada pelo sistema rotativo, podendo variar de trado manual até mecânico, dependendo da profundidade desejada. Pode-se utilizar lama bentonítica para estabilização do solo, quando necessário. À medida que vai aprofundando o furo, vai sendo retirado material originário da perfuração.

Sendo concluída a perfuração da estaca com a profundidade prevista em projeto, procede-se a colocação da armadura e em seguida a limpeza final do furo através de circulação de água limpa, dado como suficiente quando a água retornar limpa ou pouco turva. Como mostra a Figura 9.

Figura 9: Cortina de estaca.



Fonte: Autores, 2018.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Esta pesquisa tem como intuito dimensionar e criar uma cartilha com os tipos de contenções e arrimos, típicos da cidade de Cascavel-PR, para dimensionar as estruturas através de *software* para estudo de caso hipotético, tanto para arrimo, quanto para contenções, com dados retirados do Campo Experimental do Centro Universitário Assis Gurgacz.

Todos os dimensionamentos realizados foram executados nos programas *CypeCad* 2017 e *GawacWin 2.0*, que utilizam métodos clássicos difundidos na engenharia, como: Equilíbrio Limite (empuxo ativo), Rankine (empuxo passivo) Hansen (capacidade de suporte) e Bishop-Simplex (estabilidade global), seguindo as orientações das referidas Normas Brasileiras, afim de conservar a segurança da estrutura e manter um dimensionamento econômico.

De acordo com Vergara (2007) as pesquisas qualitativas são exploratórias, ou seja, visam extrair dos entrevistados seus pensamentos que foram livremente ditos sobre algum tema. O objetivo da quantitativa é mensurar e permitir o teste de hipóteses, já que os resultados são mais concretos e, conseqüentemente, menos passíveis de erros de interpretação.

A pesquisa foi realizada de forma quantitativa, por se tratar de análises numéricas de coeficientes do solo e dimensionamento de estruturas, inserindo no programa dados do solo ensaiado. A inserção de dados tem como intenção dimensionar, em caso hipotético, estruturas de contenção e muro de arrimo para o solo de Cascavel-PR.

Para o presente trabalho, o foco se dirigiu às estruturas de contenções e arrimos, não sendo tão decisivas as fundações para essas estruturas. Uma vez que a variabilidade do solo na cidade de Cascavel-PR é diversa, variando desde a espessura das camadas até o nível do lençol freático, se torna difícil a previsão do comportamento da fundação para os todos os casos existentes.

Para estruturas de contenção, de um modo geral, é realizada a execução de uma cortina de concreto armado, responsável por conter o solo, após a execução da estrutura será retirado volume de solo do lado em que será realizado os subsolos, mantendo e contendo o solo do lado oposto. Estruturas de arrimo, após a execução das estruturas é aterrado solo na

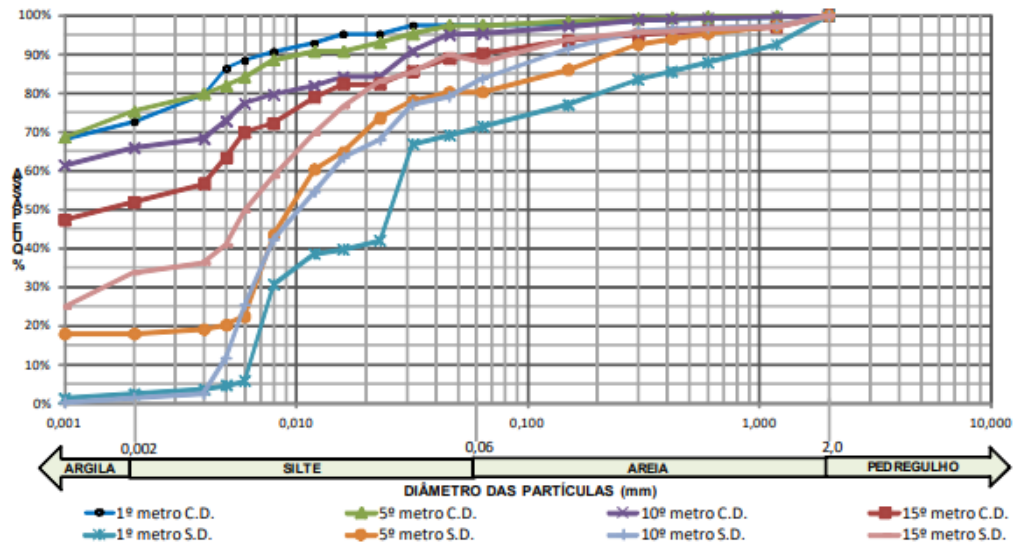
parte que será contida, fazendo com que o solo gere empuxo sobre o muro. Devido às diferenças no processo construtivo serão utilizados coeficientes diferentes para cada.

A cidade de Cascavel, situada na região Oeste do estado do Paraná, possui aproximadamente trezentos e vinte mil (320.000) habitantes. Devido sua localização estratégica, a cidade hoje é um polo de sua região, tendo sua economia voltada para o agronegócio e indústria.

3.1.2 Caracterização do solo de Cascavel-PR

Zen e Almeida (2018) realizaram ensaios de caracterização do solo ao longo da profundidade através de amostras coletadas por um poço de inspeção realizado no Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEF), onde foi constatado que o solo de Cascavel é classificado como Argila Silto Arenosa, apresentando uma média de 65% argila, 29% Silte e 6% areia.

Na Figura 10 são apresentadas as principais curvas granulométricas do solo ensaiado no Campo Experimental, retirados nas cotas 1, 5, 10 e 15 metros de profundidade. Foram realizados ensaios de granulometria conjunta, com e sem defloculante, para atestar a característica laterítica do solo e formação de flocos devido à presença de material cimentante durante sua formação.

Figura 10: Curva granulométrica.

Fonte: Autores, 2018.

Zen e Almeida (2018), utilizaram a modalidade de ensaio triaxial rápido, por ser mais indicado para solos finos, bem como o de Cascavel-PR e obter resultados com mais rapidez, uma vez que esse ensaio não necessita a drenagem.

Os autores determinaram também os valores médios de peso específico, ângulo de atrito e intercepto de coesão, para cada camada, a fim aproximar ao máximo da realidade e auxiliar projetistas com fornecimento de dados do solo de Cascavel-PR para um dimensionamento a favor da segurança. Os autores definiram as camadas do CEEF em duas, com a primeira de espessura 9 metros e a segunda com espessura indo de 9 a 15 metros que foi o limite da sondagem, representados na Tabela 1.

Tabela 1: Índices físicos.

Camada	Cotas (m)	y_n (kN/m ³)	y_{sat} (kN/m ³)	Ângulo de atrito (°)	Intercepto de Coesão (kN/m ²)
01	01 a 09	16,68	18,06	18	18
02	09 a 15	16,15	16,60	24	39

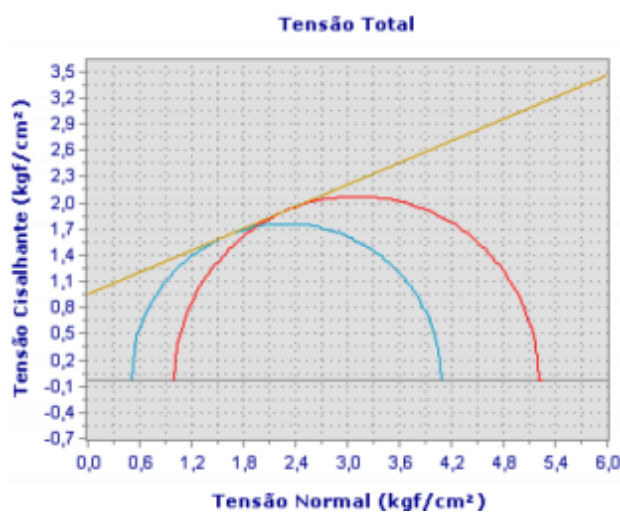
Fonte: Adaptado de Zen e Almeida, 2018.

3.1.2.1 Solos compactados

Após realização construtiva de estruturas de Muro de Arrimo, é necessário aterrar no tardo da estrutura, ou seja, preencher com solo a parte em que a estrutura deverá conter. Após o preenchimento desse solo se faz necessário a sua compactação. Por se tratar de solo removido de seu estado natural. O conhecimento desses novos valores é essencial pra o dimensionamento da estrutura.

Volpato (2015) realizou ensaios triaxiais do tipo adensado rápido, com solo retirado do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEF). A amostra que estava inicialmente deformada, foi compactada manualmente pelo ensaio de *proctor*, utilizando um Soquete Harvard Miniatura utilizando energia normal de *proctor*, com 7 camadas e 55 golpes em cada., que consiste em colocar amostra de solo em camadas em um cilindro e ir apiloando camada por camada. O ensaio triaxial com amostra compactada pura obteve intercepto de coesão de 96 kN/m² e ângulo de atrito de 22,76°, conforme Figura 11.

Figura 11: Ensaio triaxial.



Fonte: Volpato, 2015.

3.1.2.2 Estabilidade de Taludes

De acordo com a NBR 11.682 (ABNT, 1991), que se refere à estabilidade de taludes, os coeficientes de segurança variam de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Grau de segurança.

Grau de segurança necessário ao local	Métodos baseados no equilíbrio-limite	Tensão-deformação
	Padrão: fator de segurança mínimo	Padrão: deslocamento máximo
Alto	1.50	Os deslocamentos máximos devem ser compatíveis com o grau de segurança necessário ao local, à sensibilidade de construções vizinhas e à geometria do talude. Os valores assim calculados devem ser justificados.
Médio	1.30	
Baixo	1.15	

Fonte: Adaptado NBR 11682, 1991

3.1.3 Modelagem numérica

Os dimensionamentos realizados para os métodos construtivos de Muros de Arrimo e contenções seguiram as alturas ilustradas na Tabela 3. Optou-se por apresentar nesse trabalho apenas o dimensionamento dos métodos construtivos citados, devido a estes serem os mais usuais na região de Cascavel-PR.

Tabela 3: Alturas das contenções e muros de arrimo.

Método construtivo	Altura (m)	Tipologia
Cortina de estaca escavada espaçada	3, 6 e 9	Contenção
Muro de flexão com concreto armado	1, 2, 3 e 4	
Muro de gravidade em Concreto	1 e 3	Muro de arrimo
Muro de Gabião	3, 6 e 9	
Muro de arrimo em alvenaria	3	

Fonte: Autores, 2018.

Para fins do dimensionamento, foi definida uma carga padrão distribuída no tardo de 3,92 kN/m² que se refere a tráfego leve, também foi adotado muros com 10 metros de comprimento.

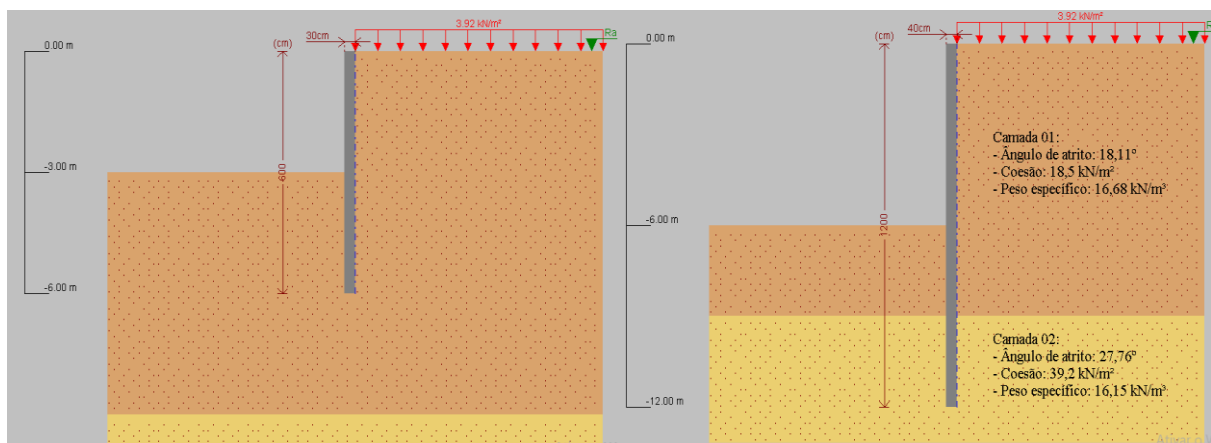
3.1.3.1 Contenções

O programa *CypeCad* no módulo de cortinas, verifica as dimensões pré-lançadas pelo usuário, considerando as normas NBR 6118 (2014), NBR 14762 (2010) e NBR 8800 (2008).

O dimensionamento de cortina de estaca escavada espaçada foi realizado representando a pior situação possível, ou seja, considerando a escavação sem a execução de lajes de escoramento. A determinação dessas alturas foi levada em consideração a escavação de até 3 subsolos com pé direito de 3 metros.

O espaçamento entre eixos das estacas foi de $1,4.D$ (D sendo diâmetro da estaca) de modo a ter o maior espaçamento possível com a maior economia e segurança à contenção. O concreto utilizado foi com resistência de 20 MPa, também por ser o mais usual. É possível verificar na Figura 12 as dimensões do dimensionamento para 3 e 6 metros, respectivamente.

Figura 12: 3 e 6 metros - estaca escavada.



Fonte: Autores, 2018.

Evitou-se a utilização de tirantes, a fim de baratear os custos da estrutura de contenção, porém devido aos grandes esforços exigidos para a estrutura com altura de 9 metros, foi utilizada uma linha de tirantes ativos, a fim de ajudar na contenção do maciço de solo.

Os tirantes foram posicionados há 2 metros de distância um do outro e com 20° de inclinação, por ser melhor inclinação para solos argilosos conforme Sousa Junior e Noronha (2016). A altura da posição da linha de tirantes ficou 3,50 metros abaixo da linha de rasante, de acordo com recomendação de Oliveira (2014), numa altura de $0,37H$, sendo H a altura da escavação da contenção, mostrado na Figura 13.

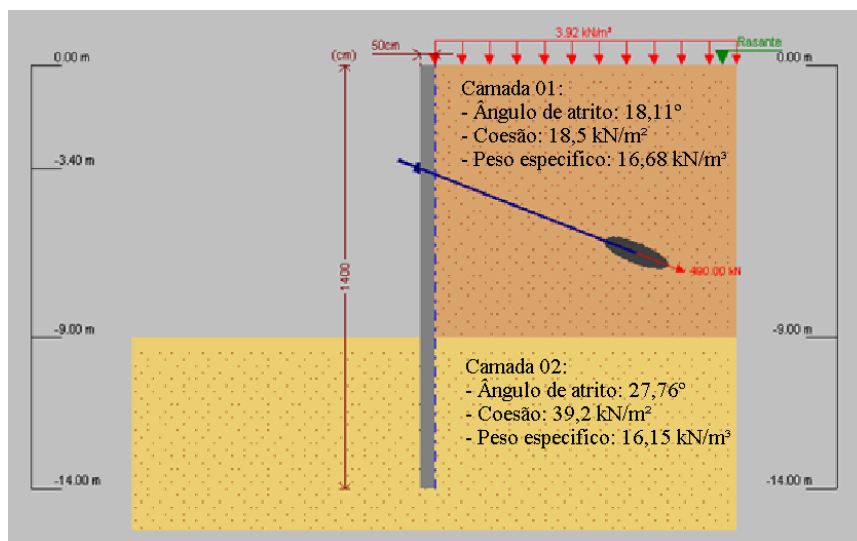
Os tirantes são compostos por 4 cordoalhas CP-190 RB 3x4,0 são protendidos, afim de aumentar a carga, sendo um tirante ativo. A rigidez axial do tirante foi encontrada devido ao modulo de elasticidade do aço e a área das cordoalhas. Os dados para inserir os tirantes foram representados na Tabela 4.

Tabela 4: Informação dos tirantes.

Informação dos tirantes	
Cota (m)	-3,50
Rigidez Axial (kN/m)	5110
Ângulo (°)	20,00
Carga de tensão inicial (kN)	490,00
Distância entre tirantes (m)	2,00

Fonte: Autores, 2018.

Figura 13: 9 metros - estaca escavada.



Fonte: Autores, 2018.

Para manter a segurança verificaram-se as deformações relativas máximas horizontais apresentadas nas cortinas no topo. A estrutura foi dimensionada de modo que a deformação máxima encontrada no programa fosse menor que o mínimo de 0,87%H (sendo H a altura da cortina), de acordo com Mornman (2004).

3.1.3.2 Muro de Arrimo

3.1.3.2.1 Muro de Flexão

Com a utilização do programa *Cypecad*, no módulo de muro em balanço de concreto armado, foi realizado o dimensionamento do muro de arrimo de flexão. O programa, dentro deste módulo, solicita: altura de corte, o tipo de fundação da estrutura, dados sobre o terreno e cargas. Com os dados de inserção representado na obra.

Figura 14 e Figura 15, o programa faz o dimensionamento, fornecendo relatório a respeito das características da obra.

Figura 14: Dados solo.

A janela 'Editar estrato' apresenta os seguintes dados inseridos:

Descrição	Valor	Unidade
Densidade aparente (d)	16.48	kN/m³
Densidade submersa (ds)	1.00	kN/m³
Ângulo atrito interno (f)	18.11	graus
Coesão (c)	18.15	kN/m²

Na barra de descrição, está escrito 'Argila branda'. Há botões 'Aceitar' e 'Cancelar' na base da janela.

Fonte: Autores, 2018.

Figura 15: Dados fundação.

Editar fundação

☐ Somente balanço à esquerda
☒ **Somente balanço à direita**
☐ Balanço em ambos os lados

Altura: 70 cm

Balanços: 240.0 / 200.0 cm

Concreto magro: 10 cm

Estacas: Estaca

Comprimento da estaca: 150 cm

Penetração: 10 cm

Distância longitudinal entre eixos: 200 cm

Distância transversal entre eixos: 150 cm

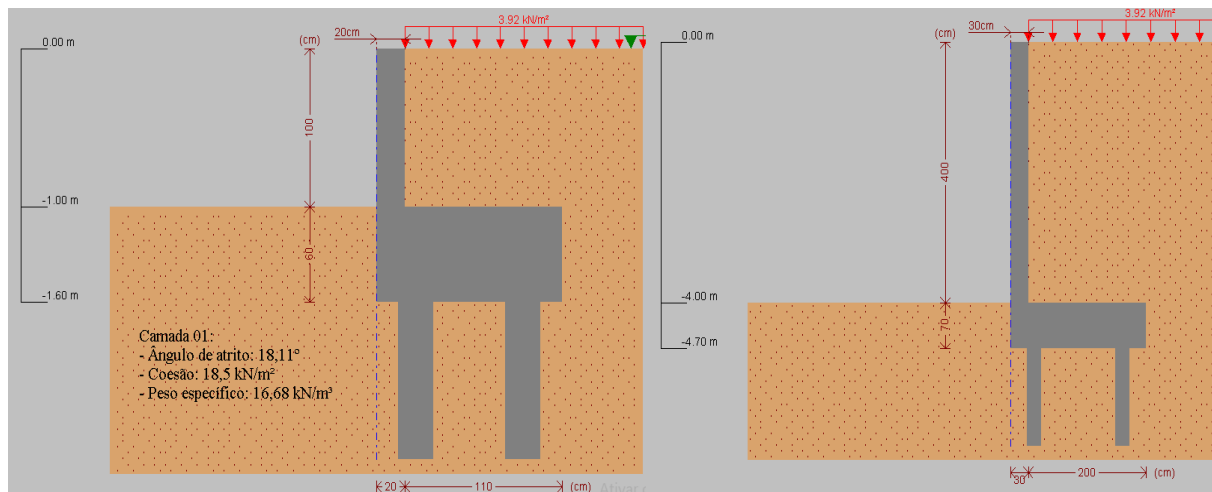
Aceitar Cancelar

Fonte: Autores, 2018.

Para o muro de flexão, devido às características de solo colapsível perder sua resistência quando saturado, foi adotada fundação com estacas escavadas com blocos de coroamento, CAPUTO (2000).

O espaçamento entre eixos das estacas foi alterado de modo a ter o maior espaçamento possível com a maior economia e segurança à contenção. O concreto utilizado foi com resistência de 20 MPa, também por ser o mais usual. O perfil de 1 e 4 metros pode ser visto na Figura 16, respectivamente.

Figura 16: 1 e 4 metros - muro de flexão.



Fonte: Autores, 2018.

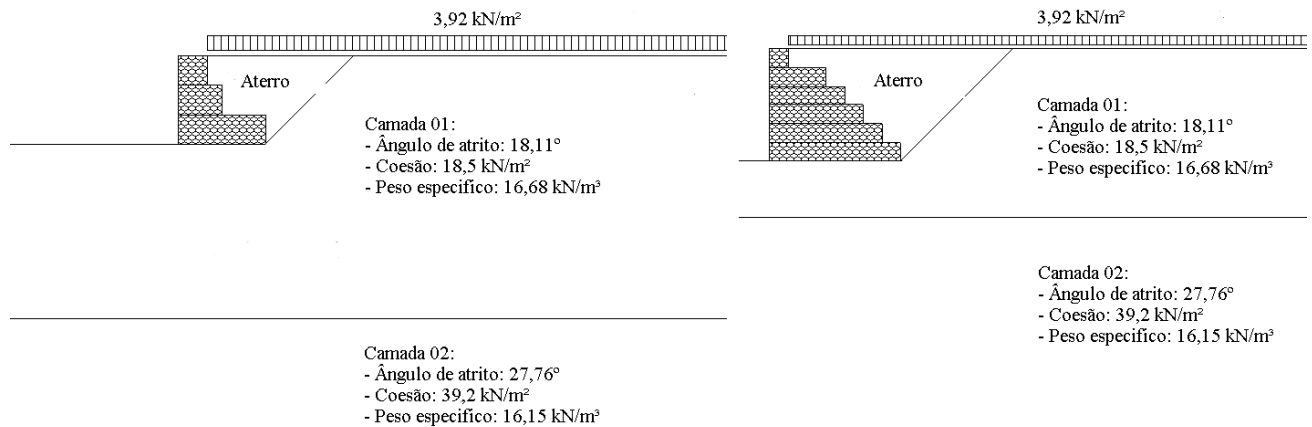
3.1.3.2.2 Muro de gravidade em gabiao

O programa *GawacWin 2.0* é um sistema para análise de estabilidade de muros de arrimo em gabiões, que utiliza métodos clássicos difundidos na engenharia, como: Equilíbrio Limite (empuxo ativo), Rankine (empuxo passivo) Hansen (capacidade de suporte) e Bishop-Simplex (estabilidade global), para a realização de análises de estabilidade contra o escorregamento ao longo da fundação, estabilidade contra o tombamento da estrutura, estabilidade contra a ruptura do solo de fundação, estabilidade interna da estrutura em gabiões e estabilidade contra a ruptura global.

Para que a estrutura simulasse bem, foram inseridos no programa dados reais do solo, retirados do Campo Experimental do Centro Universitário Assis Gurgacz por Zen e Almeida (2018). Além dos dados apresentados, foi preciso especificar o tipo de solo, para que o programa calculasse de forma mais precisa.

Na modelagem do caso hipotético em Gabiões, foram utilizadas camadas com caixa de 1 metro de altura, por ser o mais usual. Adotou-se peso específico da pedra de 14,3 kN/m³, porosidade de 30% e inclinação de 0° para se chegar ao máximo de caso desfavorável. A malha do arame que molda a caixa foi especificada em 8x10 com diâmetro de 2,4 mm.

No perfil representado na Figura 17, é possível verificar a distribuição das caixas que irão compor a estrutura muro de Gabião e conter o maciço de solo. É possível verificar os índices das camadas de solo e a carga de 3,92 kN/m² considerada para atuar sobre o aterro que será contido pela estrutura.

Figura 17: Perfil 3 e 6 metros - Muro de Gabião.

Fonte: Autores, 2018.

O comprimento da base das camadas varia devida sua função de estabilizar o muro, e a ponta do arrimo. Segue Tabela 5 ilustrando as estruturas nos muros com 3, 6 e 9 metros de altura.

Tabela 5: Camadas– Muro de Gabião.

3 metros		6 metros		9 metros	
Camada	Comprimento	Camada	Comprimento (m)	Camada	Comprimento(m)
1	3,00	1	7,00	1	12,00
2	1,50	2	6,00	2	11,00
3	1,00	3	5,00	3	9,00
		4	4,00	4	8,00
		5	3,00	5	7,00
		6	1,00	6	6,00
				7	5,00
				8	3,00
				9	1,00

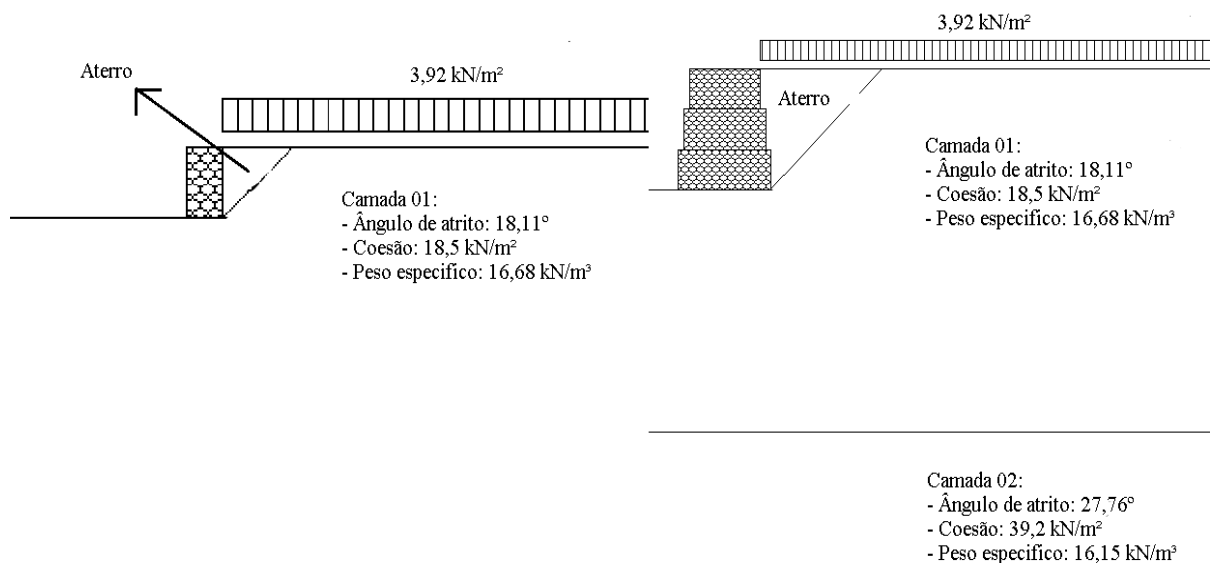
Fonte: Autores, 2018.

3.1.3.2.3 Muro de gravidade em concreto

Para o sistema construtivo de muro de gravidade em concreto, foi utilizado o programa *GawacWin 2.0* para análise de ruptura global. Para tanto, fez-se necessário inserir dados diferentes, como o peso específico de 24 kN/m³ e porosidade de 0%, referentes ao concreto.

Foram utilizadas camadas com 1 metro de altura, de modo que sua distribuição final tome forma o mais próximo possível de um cone. A porosidade utilizada foi de 0% considerando a pior situação, onde o muro seria impermeável causando um acúmulo de água no tardo, assim aumentando o empuxo ativo. No perfil mostrado na Figura 18, consegue-se ver a distribuição das camadas de solo, assim como a representação do muro.

Figura 18: Perfil 1 e 3 metros - Muro de gravidade em concreto.



Fonte: Autores, 2018.

Para o muro com altura de 1 metro a camada ficou com comprimento de 0,52 metros e para o de 3 metros o comprimento das camadas está representado na Tabela 6.

Tabela 6: Camadas 3 metros - Muro de gravidade em concreto.

Camada	Comprimento (m)
1	2,50
2	2,20
3	1,90

Fonte: Autores, 2018.

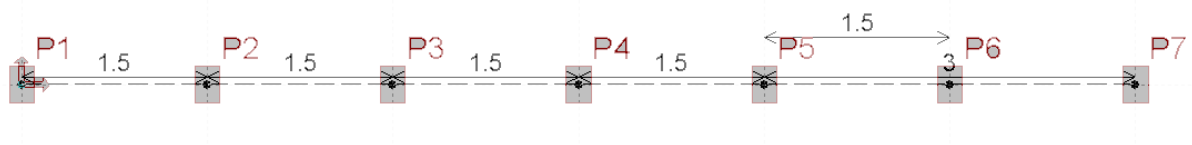
3.1.3.2.4 Muro de flexão em alvenaria

Para o dimensionamento de muro de flexão em alvenaria, foi utilizado o programa *Cypecad* no módulo estrutural, que é o módulo específico para dimensionamento desse sistema construtivo. Para iniciar o dimensionamento foram inseridas as camadas do terreno,

como, fundação, bloco, alvenaria e vigas para posteriormente incrementar pilares, vedação, empuxo do solo e fundação do muro.

Para todas as simulações de dimensionamento de arrimo, independente do método construtivo, foi considerado um muro de 10 metros de comprimento. No muro de flexão em alvenaria foi distribuído em 7 pilares com uma distância de 1,5 metros entre si, para manter o padrão de comprimento, conforme ilustrado na Figura 19.

Figura 19: Pilares - Muro de alvenaria.



Fonte: Autores, 2018.

Na inserção de dados do solo, a cota fica em 2,74 metros por ter os elementos de fundação. Com esses dados e com a carga distribuída no seu tardoz (3,92 kN/m²) mostrado na Figura 20, o programa cria o empuxo que o solo está causando no muro, após a inserção de índices físicos do solo de Cascavel-PR.

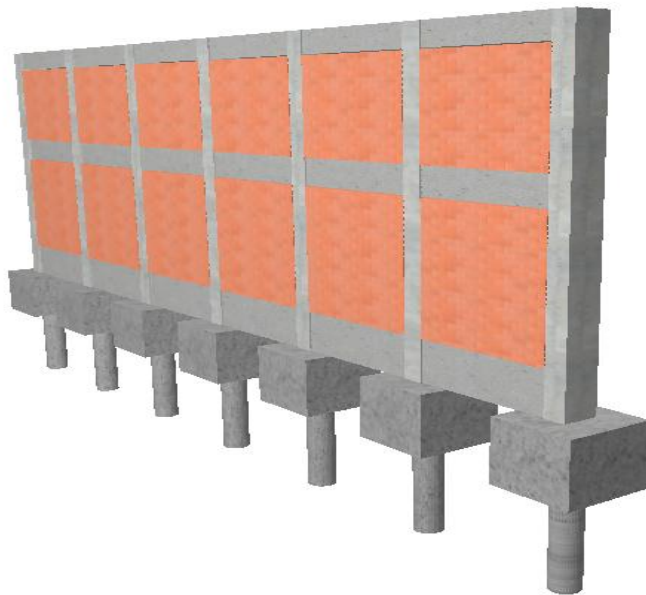
Figura 20: Empuxo do terreno - Muro de alvenaria.

Fonte: Autores, 2018.

Com os dados do solo, o *software* calcula o empuxo e realiza o dimensionamento, verificando se a estrutura lançada suporta o maciço, caso não, ele indica alterações necessárias para que a estrutura suporte a quantia de solo.

A fundação escolhida para o muro foi de blocos de coroamento e estacas, por ser o mais usual para solos colapsíveis, como o solo de Cascavel-PR. O resultado final da estrutura está representado na Figura 21.

Figura 21: 3D - Muro de alvenaria.1



Fonte: Autores, 2018.

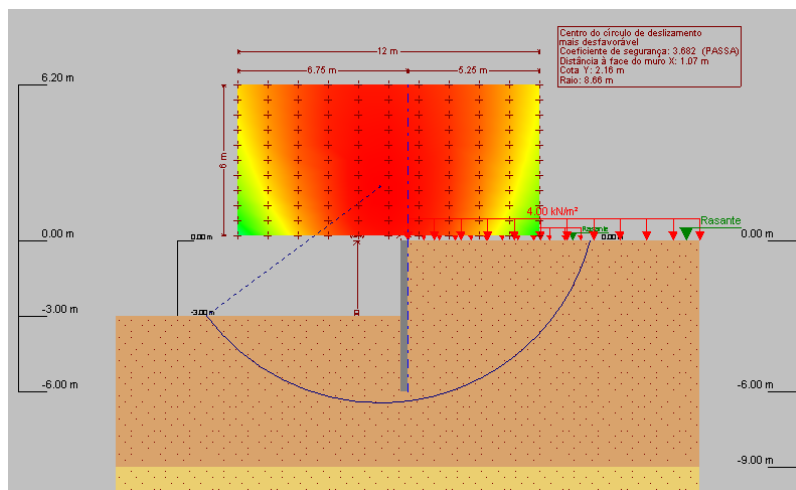
CAPÍTULO 4

4.1 DISCUSSÕES E RESULTADOS

4.1.1 Cortina de estaca escavada espaçada

Ao fim da modelagem do caso hipotético com estacas escavadas de 3 metros é analisado o círculo de deslizamento desfavorável, para avaliar a segurança da contenção. O círculo é uma representação gráfica da análise de todos os pontos em um raio de 8,66 metros mostrado na Figura 22, comparando o coeficiente mais desfavorável, que no caso é 3,68, com o mínimo da normal ABNT NBR 11.682 (1991), que é 1,5 (fator de segurança alto).

Figura 22: Círculo de deslizamento 3 metros - Estaca escavada.

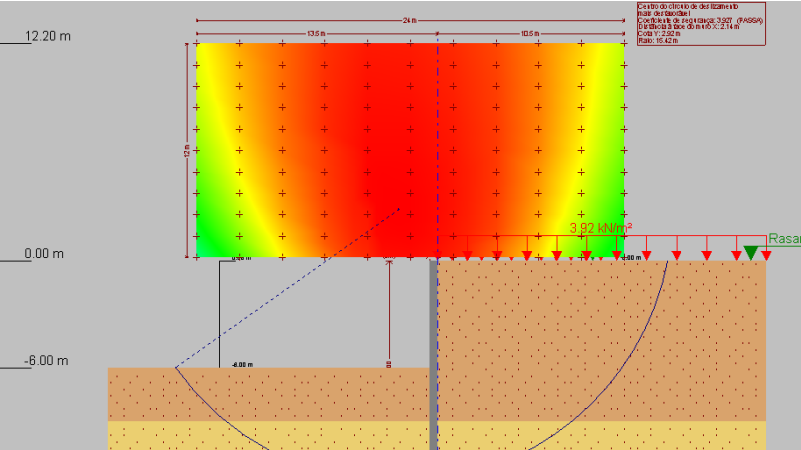


Fonte: Autores, 2018.

Na modelagem do caso hipotético com estacas escavadas de 3 metros foi considerado estaca com diâmetro de 30 cm, foi utilizada armadura longitudinal em aço CA-50 composta por 6 barras de 12,5 mm de diâmetro, além de armaduras transversais em aço CA-60B composta por estribos de 6,3 mm espaçados a cada 9 cm.

No caso hipotético com estacas escavadas de 6 metros é analisado o círculo de deslizamento desfavorável para um raio de 18,86 metros, encontrando o coeficiente mais desfavorável de 4,27 representado na Figura 23. O coeficiente mínimo para a estrutura atende ao mínimo exigido por norma.

Figura 23: Círculo de deslizamento 6 metros - Estaca escavada.



Fonte: Autores, 2018.

Para estacas escavadas de 6 metros foi solicitado diâmetro de 40 cm, foi utilizada armadura longitudinal em aço CA-50 composta por 8 barras de 16 mm de diâmetro, além de armaduras transversais em aço CA-60B composta por estribos de 8 mm espaçados a cada 13 cm.

É possível identificar, através da Tabela 7, uma mudança significativa na armadura das estacas dos dois casos. A mudança apresentada se deve às cargas do maciço que será contido, que irão influenciar no momento fletor e força cortante atuando na estrutura.

Tabela 7: Armaduras 3 e 6 metros – Estaca escava.

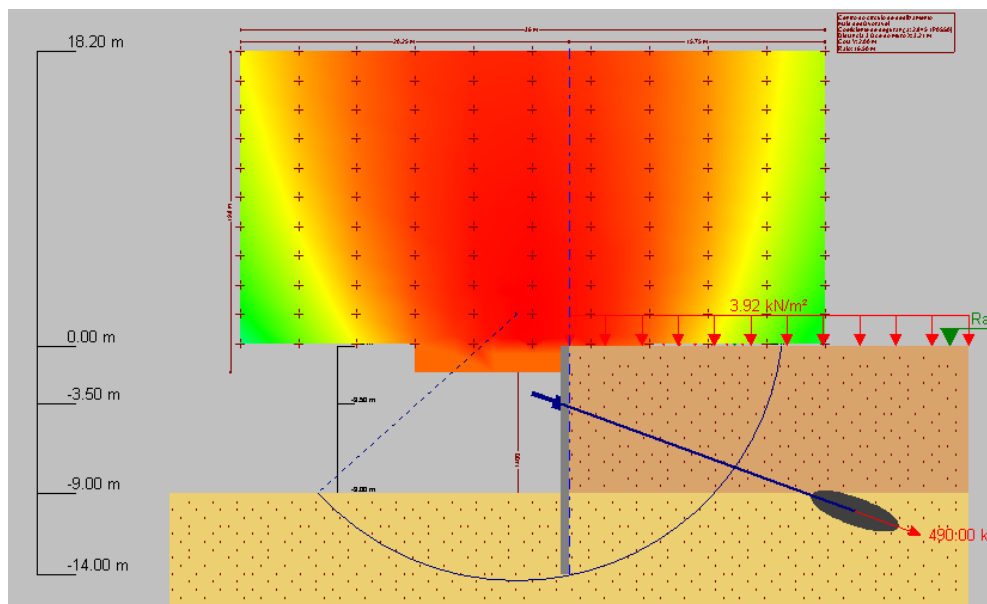
3 metros			6 metros		
Diâmetro da estaca	30cm		Diâmetro da estaca	40cm	
Armadura longitudinal (CA-50)	6Ø12,5		Armadura longitudinal (CA-50)	8Ø16	
Armadura transversal	Ø6 a cada 9cm		Armadura transversal	Ø8 a cada 13cm	
	Cota (m)	Unidade		Cota (m)	Unidade
Força cortante	-3,2	6 kN/m	Força cortante	-6,3	48kN/m
Momento fletor	-3,8	3,3 kNm/m	Momento fletor	-7,2	85kNm/m
Deslocamento	0	-4,3 mm	Deslocamento	0	-45 mm

Fonte: Autores, 2018.

Ao fim da modelagem do caso hipotético com estacas escavadas de 9 metros é analisado o círculo de deslizamento desfavorável para um raio de 16 metros, encontrando o

coeficiente mais desfavorável de 2,84 mostrado na Figura 24. O coeficiente mínimo para a estrutura atende ao mínimo exigido por norma, que é 1,5.

Figura 24: Círculo de deslizamento 9 metros - Estaca escavada.



Fonte: Autores, 2018.

Para estacas escavadas de 9 metros foi necessário utilizar escadas com diâmetro de 50 cm, foi utilizada armadura longitudinal em aço CA-50 composta por 7 barras de 20 mm de diâmetro, além de armaduras transversais em aço CA-60B composta por estribos de 6,3 mm espaçados a cada 13 cm. A fim de conter a armadura e deixa-la mais esbelta, optou-se pelo tirante, dando assim um reforço à estrutura, representada na Tabela 8.

Tabela 8: Armaduras 9 metros - Estaca escavada.

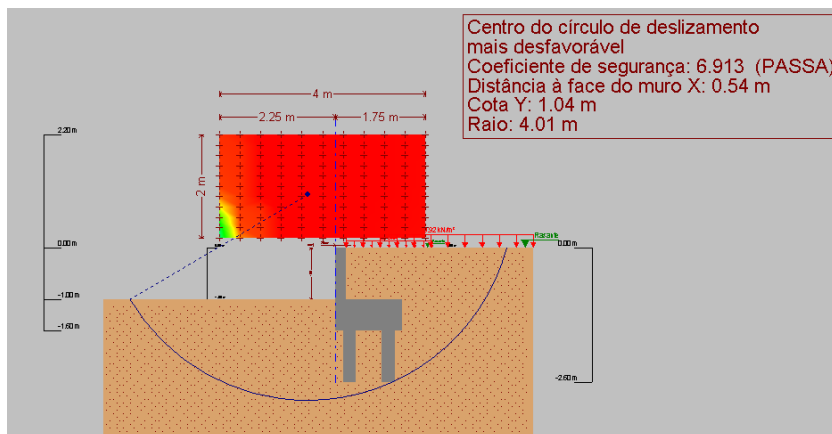
9 Metros				
Armadura			Esforços	
			Cota (m)	Unidade
Diâmetro da estaca	50cm	Força cortante	-3,80	120 kN/m
Armadura longitudinal (CA-50)	7Ø20	Momento Fletor	-7,8	-110 kNm/m
Armadura transversal	Ø6,3c13	Deslocamento	-8	7 mm

Fonte: Autores, 2018

4.1.2 Muro de flexão sem contraforte

No sistema construtivo de muro de flexão com concreto armado, as simulações foram feitas de 1 a 4 metros. O círculo de deslizamento desfavorável para simulação de 1 metro tem coeficiente desfavorável de 6,9 como mostra a Figura 25, atendendo ao mínimo da norma de 1,5.

Figura 25: Círculo de deslizamento 1 metros - Muro de flexão.

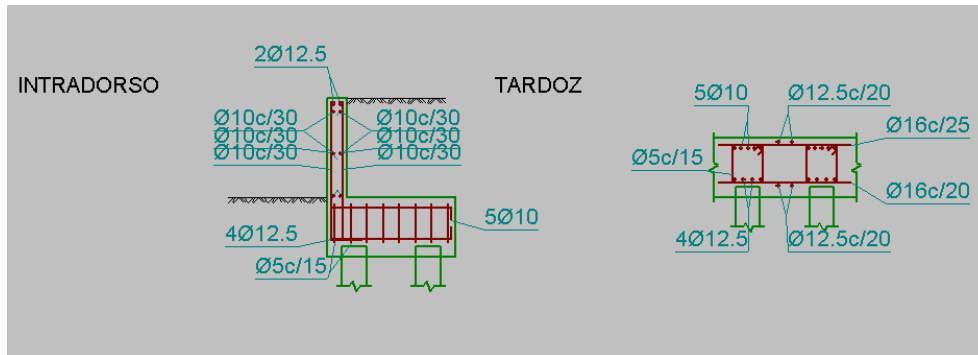


Fonte: Autores, 2018.

Na modelagem do caso hipotético muro de flexão de 1 metro foi solicitado para parede de concreto uma espessura de 20 cm, foi utilizada armadura longitudinal em aço CA-50 composta por barras transversais de 10 mm de diâmetro, além de armaduras longitudinais em aço CA-60B composta por barras de 10 mm espaçadas a cada 30 cm.

Essa estrutura está ligada a um bloco de coroamento com 5 barra de 10 mm na parte superior da viga do bloco, 4 barras com 12,5 mm na parte inferior da viga do bloco e estribos de 5 mm de diâmetros com espaçamento de 15 cm. Na parte superior do bloco foi utilizadas barras de 12,5 mm espaçadas a cada 25 cm, na parte inferior foram utilizadas barras de 12,5 mm a cada 20 cm, como mostrado na Figura 26.

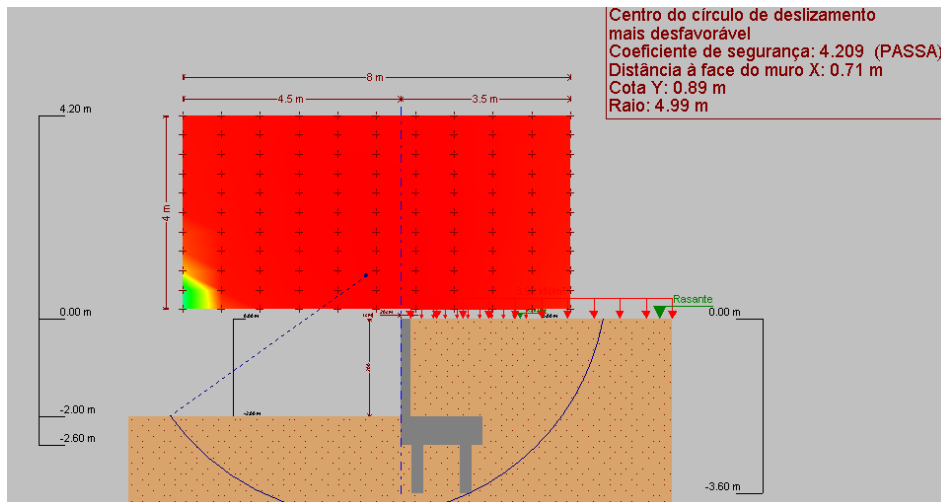
Figura 26: Armadura 1 metro - Muro de flexão.



Fonte: Autores, 2018.

Para 2 metros de corte foi o círculo de deslizamento desfavorável para simulação de tem coeficiente desfavorável de 4,2, atendendo ao mínimo da normal de 1,5. O raio crítico analisado foi de 5 metros, representado na Figura 27.

Figura 27: Círculo de deslizamento 2 metros - Muro de flexão.



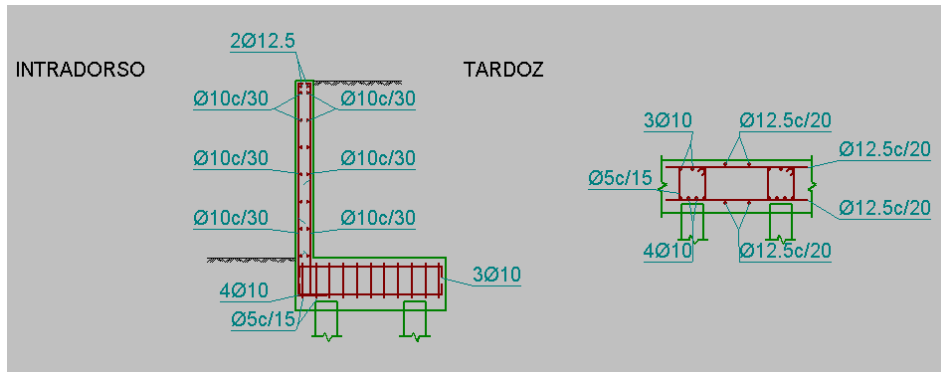
Fonte: Autores, 2018.

A espessura do muro ficou de 20 cm, foi utilizada armadura longitudinal em aço CA-50 composta por barras transversais de 10 mm de diâmetro, além de armaduras longitudinais em aço CA-60B composta por barras de 10 mm espaçados a cada 30 cm.

A estrutura vertical do sistema está ligada a um bloco de coroamento com 3 barra de 10 mm na parte superior da viga do bloco, 4 barras com 10 mm na parte inferior da viga do bloco e estribos de 5 mm de diâmetros com espaçamento de 15 cm. Na parte superior do

bloco foram utilizadas barras de 12,5 mm espaçadas a cada 20 cm, na parte inferior foram utilizadas barras de 12,5 mm a cada 20 cm, representado na Figura 28.

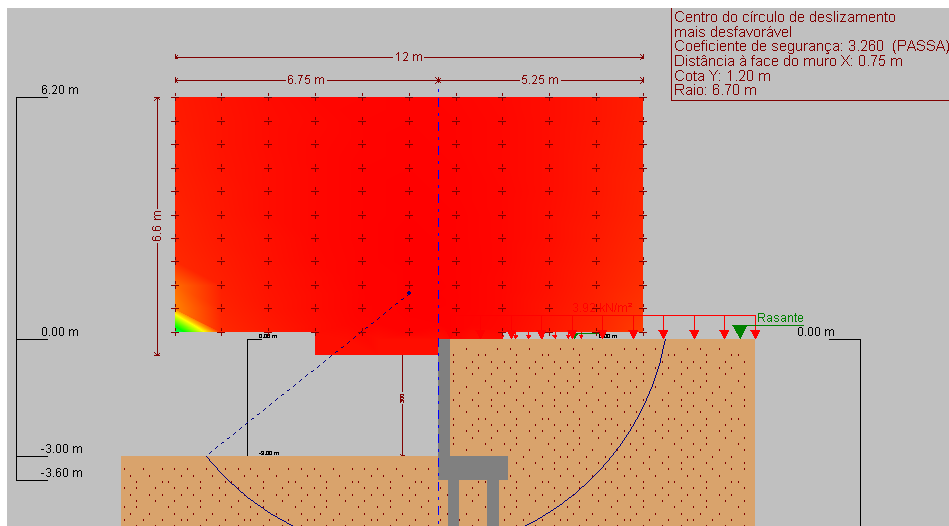
Figura 28: Armadura 2 metros - Muro de flexão.



Fonte: Autores, 2018.

Para 3 metros de corte foi o círculo de deslizamento desfavorável para simulação de tem coeficiente desfavorável de 3,2, atendendo ao mínimo da normal de 1,5. O raio crítico analisado foi de 6,70 metros, mostrado na Figura 29.

Figura 29: Círculo de deslizamento 3 metros - Muro de flexão.

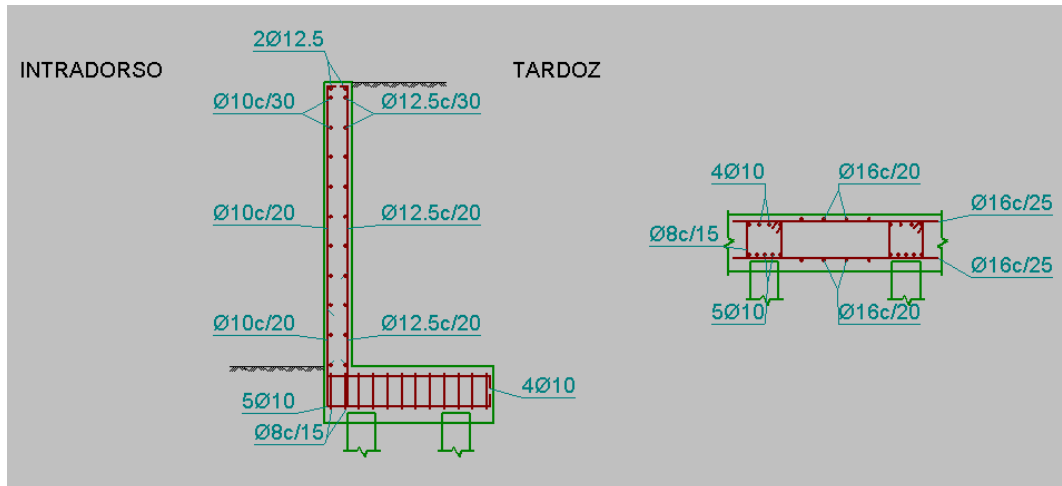


Fonte: Autores, 2018.

Foi utilizada armadura longitudinal em aço CA-50 composta por barras transversais de 12,5 mm de diâmetro, além de armaduras longitudinais em aço CA-60B composta por barras de 10 mm espaçados a cada 20 cm.

A estrutura vertical do sistema está ligada a um bloco de coroamento com 4 barra de 10 mm na parte superior da viga do bloco, 5 barras com 10 mm na parte inferior da viga do bloco e estribos de 8 mm de diâmetros com espaçamento de 15 cm. Na parte superior do bloco foi utilizadas barras de 16 mm espaçadas a cada 20 cm, na parte inferior foram utilizadas barras de 16 mm a cada 20 cm, mostrado na Figura 30.

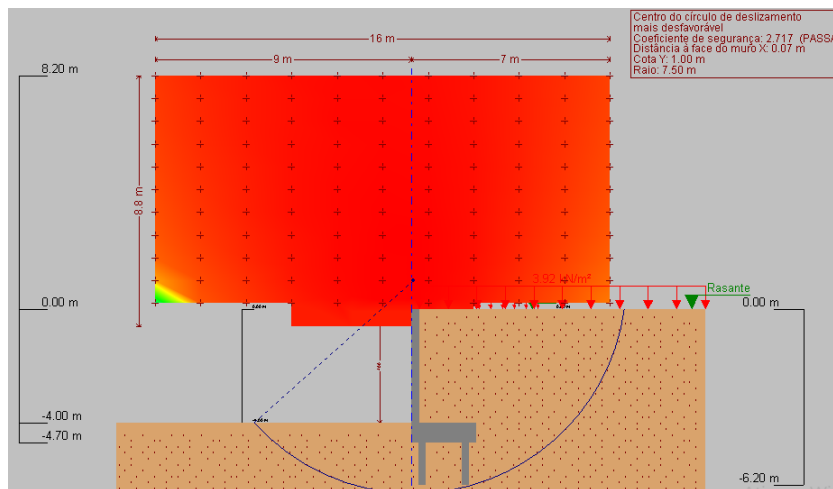
Figura 30: Armadura 3 metros - Muro de flexão.



Fonte: Autores, 2018.

Para 4 metros de corte foi o círculo de deslizamento desfavorável para simulação de tem coeficiente desfavorável de 2,7, atendendo ao mínimo da normal de 1,5. O raio crítico analisado foi de 7,50 metros, como mostrado na Figura 31.

Figura 31: Círculo de deslizamento 4 metros - Muro de flexão.



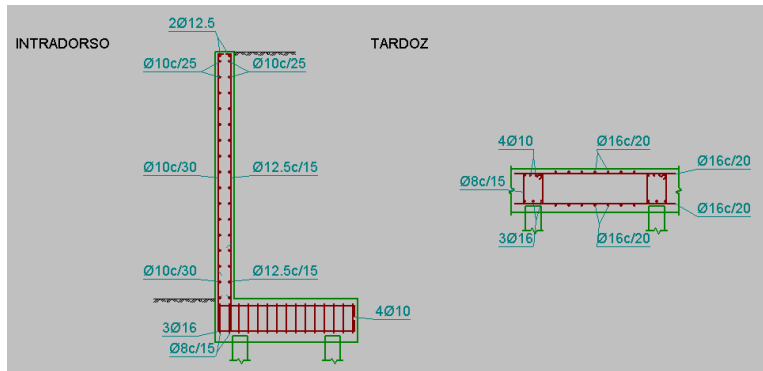
Fonte: Autores, 2018.

Foi solicitado para parede de concreto uma espessura de 30 cm, foi utilizada armadura longitudinal em aço CA-50 composta por barras transversais de 10 mm de diâmetro, além de armaduras longitudinais em aço CA-60B composta por barras de 12,5 mm espaçados a cada 15 cm.

A estrutura vertical do sistema está ligada a um bloco de coroamento com 4 barra de 10 mm na parte superior da viga do bloco, 3 barras com 16 mm na parte inferior da viga do bloco e estribos de 8 mm de diâmetros com espaçamento de 15 cm. Na parte superior do bloco foi utilizadas barras de 16 mm espaçadas a cada 20 cm, na parte inferior foram utilizadas barras de 16 mm a cada 20 cm, representado na Figura 32.

Para a situação do muro com 4 metros, os blocos foram unidos formando uma laje de apoio do solo compactado, de modo a ajudar o modelo para evitar tombamento ou deslizamento do muro de flexão.

Figura 32: Armaduras 4 metros - Muro de Flexão.

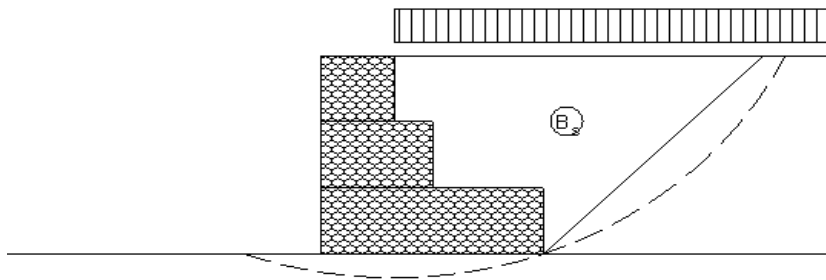


Fonte: Autores, 2018.

4.1.3 Muro de Gabião

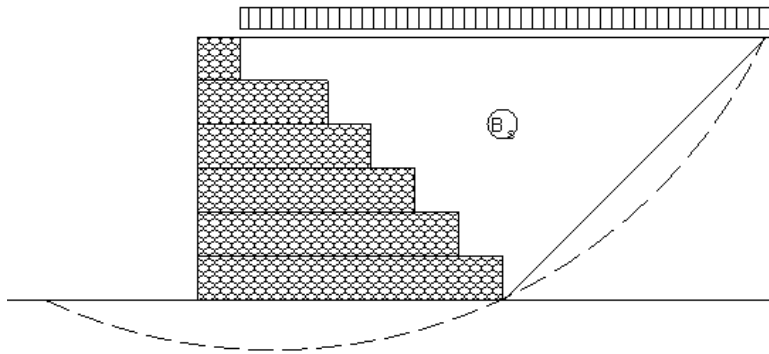
Na Figura 36, Figura 33, Figura 34 e Figura 35 pode-se verificar a cunha de deslizamento desfavorável para o muro de gabião com altura de 3, 6 e 9 metros, respectivamente que representa o ponto crítico que pode ocorrer o colapso da estrutura.

Figura 33: Cunha de deslizamento 3 metros - Muro de Gabião.



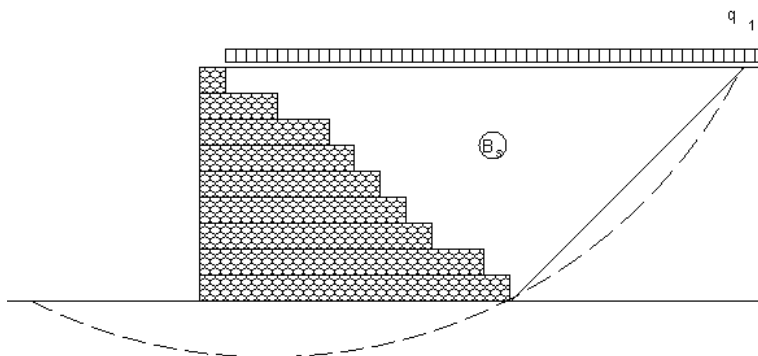
Fonte: Autores, 2018.

Figura 34: Cunha de deslizamento 6 metros - Muro de Gabião.



Fonte: Autores, 2018.

Figura 35: Cunha de deslizamento 9 metros - Muro de gabião.



Fonte: Autores, 2018.

Analisando-se os dados obtidos na Tabela 9: Resultados - Muro de Gabião., as dimensões inseridas foram satisfatórias, gerando coeficientes de segurança acima do mínimo que é 1,5 estabelecido por norma. A tensão admissível de acordo com Vieira et al (2017) deve ficar em 40 kN/m², para que não haja ruptura por parte da fundação, é necessário nos três casos que acha um rígido controle de compactação do solo para aumentar a tensão resistente do solo.

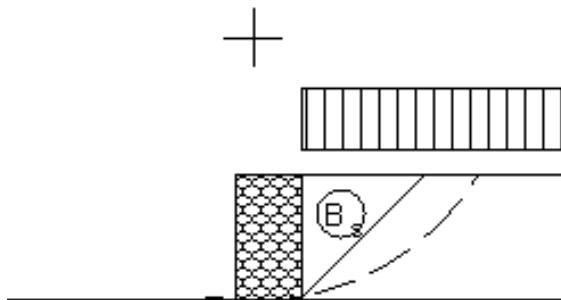
Tabela 9: Resultados - Muro de Gabião.

	3 metros	6 metros	9 metros
Coeficiente de segurança de deslizamento	1,57	1,52	1,72
Coeficiente de segurança de tombamento	2,98	6,42	9,20
Coeficiente de segurança de ruptura global	2,06	1,72	1,63
Tensão na base (esquerda) (kN/m²)	67,05	97,96	131,28
Tensão na base (direita) (kN/m²)	8,51	63,24	115,13
Máxima tensão admissível do programa (kN/m²)	91,97	117,43	147,41

Fonte: Autores, 2018.

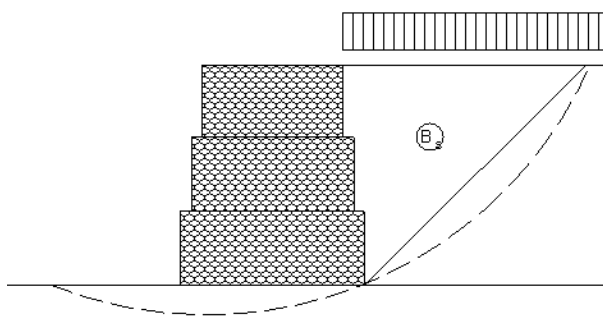
4.1.4 Muro de gravidade em concreto

Para o muro de gravidade em concreto, obteve-se a cunha de deslizamento mostrada na Figura 36 e Figura 37 para altura de 1 e 3 metros, respectivamente.

Figura 36: Cunha de deslizamento 1 metro - Muro de gravidade em concreto.

Fonte: Autores, 2018.

Figura 37: Cunha de deslizamento 3 metros - Muro de gravidade em concreto.



Fonte: Autores, 2018.

Analisando-se os dados obtidos na Tabela 10, as dimensões inseridas foram satisfatórias, gerando coeficientes de segurança acima do mínimo estabelecido por norma. A tensão admissível estimada na camada superficial de acordo com Vieira et al (2017) é de 40 kN/m². Portanto é necessário que em qualquer das situações onde seja implantada esse tipo de obra, seja realizado um rígido controle de compactação a fim de suportar o carregamento do muro de arrimo e não ocorrer ruptura geotécnica da fundação devido ao cisalhamento das camadas.

Tabela 10: Resultados - Muro de gravidade de concreto.

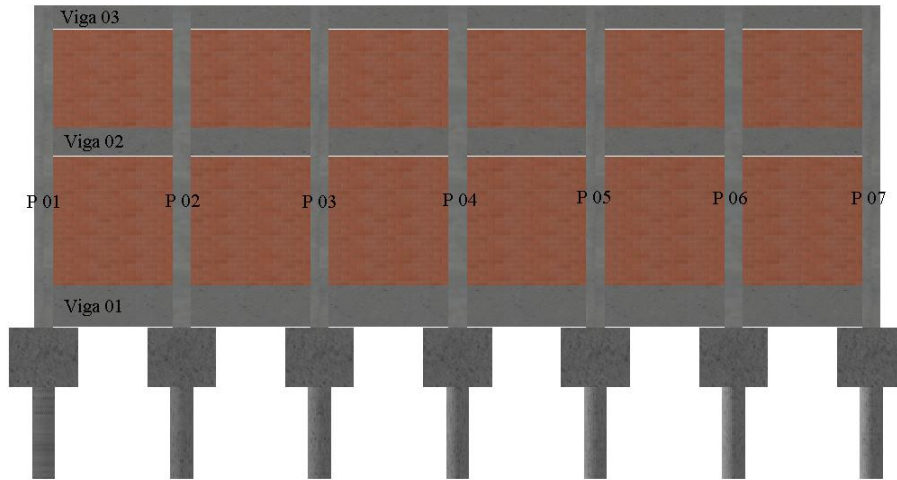
	1 metro	3 metros
Coeficiente de segurança de deslizamento	1,71	1,93
Coeficiente de segurança de tombamento	1,88	5,31
Coeficiente de segurança de ruptura global	2,44	1,99
Tensão na base (esquerda) (kN/m²)	63,68	86,49
Tensão na base (direita) (kN/m²)	0,00	43,62
Máxima tensão admissível do programa (kN/m²)	83,68	94,97

Fonte: Autores, 2018.

4.1.5 Muro de arrimo de alvenaria

Inicialmente a estrutura foi dimensionada com 20 centímetros de espessura e para permanecer nessa espessura a viga 01 iria ficar com uma altura desproporcional e fora do usual. Com isso optou-se por aumentar a espessura de todas as vigas e alvenaria para 30 centímetros. A estrutura final que suportou o empuxo do solo foi a representada na Figura 38.

Figura 38: Estrutura final - Muro de arrimo de alvenaria.



Fonte: Autores, 2018.

As armaduras dos pilares ficaram iguais em todos os pilares, foi utilizado o aço CA-50 para as armaduras longitudinais e para os estribos. 4 barras de 12,5 mm de diâmetro nos cantos e da face 2 barras de 12,5 mm de diâmetro. Os estribos ficaram em 6,3 mm de diâmetro com um espaçamento de 15 centímetros entre eles, o quantitativo está mostrado na Tabela 11.

Tabela 11: Armaduras pilares - Muro de arrimo de alvenaria.

Diâmetro (mm)	Comprimento total (cm)	Peso (kg)
12,5	2320	22,3
6,3	2047	5

Fonte: Autores, 2018.

A armadura superior longitudinal da viga 01 ficou de 5 barras de 6,3 mm de diâmetro, inferior longitudinal de 2 barras de 6,3 mm e armadura de ligação de 3 barras de 6,3 mm em aço CA-50. Os estribos ficaram em aço CA-60 com diâmetro de 5,0 mm.

Da armadura superior longitudinal da viga 02 ficou de 1 barra de 8,0 mm e 2 barras de 6,3 mm, inferior longitudinal de 2 barras de 6,3 mm e armadura de ligação de 1 barra de 8,0 mm de diâmetro em aço CA-50. Os estribos ficaram em aço CA-60 com diâmetro de 5,0 mm.

Da armadura longitudinal da viga 03 ficou de 2 barras de 5,0 mm de diâmetro e aço CA-60, inferior longitudinal de 2 barras de 6,3 mm de diâmetro em CA-50. Os estribos

ficaram com diâmetro de 5,0 mm em aço CA-60. Na Tabela 12, está representado os quantitativos.

Tabela 12: Armaduras vigas - Muro de arrimo de alvenaria.

Elemento	Diâmetro (mm)	Comprimento Total (cm)	Peso CA-50 (kg)	Peso CA-60 (kg)
Viga 01	6,3	8375	20,5	
	5	6624		10,4
Viga 02	8	1320	5,2	
	6,3	3880	9,5	
	5	5832		9,2
Viga 03	6,3	1930	4,7	
	5	4770		7,5

Fonte: Autores, 2018.

Pode-se observar que com essa espessura de 30 centímetros os diâmetros ficaram com um diâmetro reduzido, se for comparado com os demais dimensionamentos que deram diâmetros de 10 e 12,5 milímetros, como no muro de flexão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve como objetivo analisar, apresentar métodos construtivos e dimensionar, através de *softwares*, estruturas de contenções e muros de arrimo, tendo o perfil típico do solo de Cascavel-PR. Ao termino do trabalho, o objetivo foi a criação de uma cartilha para auxilio no dimensionamento das estruturas mais usuais de Cascavel-PR.

O presente trabalho dividiu as estruturas analisadas em: contenção e muro de arrimo. Para cada categoria analisada adotou-se alturas variáveis para analisar o porte que cada uma consegue suportar, sem que se torne inviável. As análises foram feitas verificando coeficiente de segurança de deslizamento, tombamento e ruptura global com o *software* *GawacWin 2.0*, no dimensionamento de contenção por gravidade em Gabião. Para as demais estruturas, verificou-se dimensões com a utilização do *software* *CypeCad*.

Para a realização do dimensionamento foi necessário o conhecimento de algumas informações do solo, tais como: peso específico natural, ângulo de atrito e coesão. Com as informações de Zen e Almeida (2018), obtém-se uma média de peso específico natural, separando o solo em duas camadas. Camada 01 (01 a 09 metros) e camada 02 (09 a 15 metros). Com estes resultados obteve-se a média para a camada 01 de peso específico igual a $16,68 \text{ kN/m}^3$ e para a camada 02, de $16,15 \text{ kN/m}^3$.

O solo tem coesões e ângulos de atritos diferentes a cada cota, com isso, obteve-se de média: camada 01 de coesão de $18,5 \text{ kN/m}^2$ e de ângulo de atrito de 18° ; camada 02 de coesão $39,2 \text{ kN/m}^2$ e de ângulo de atrito de 24° . Para fins do dimensionamento, foi definida uma carga padrão distribuída no tardo de $3,92 \text{ kN/m}^2$ e muros de 10 metros de comprimento.

Nos dimensionamento dos arrimos, foram necessários os novos coeficientes de intercepto de coesão e ângulo de atrito, devido à mudança do estado natural do solo para solo deformado. Para tanto, depois de compactado o de aterro, pode-se considerar o intercepto de coesão como 96 kN/m^2 e ângulo de atrito de 23° .

O dimensionamento do método construtivo de cortina de estaca escavada foi dividido em três simulações, que variaram de 3, 6 a 9 metros. A estrutura de 3 metros (representando 1 subsolo) ficou com estacas de 30 cm, 6 barras de 12,5mm e estribos de 6mm espaçados 9cm. O coeficiente mínimo de segurança da estrutura foi de 3,68, atendendo à norma.

Na estrutura de 6 metros (representando 2 subsolos) foi dimensionada com estaca de 40cm, armadura longitudinal de 8 barras com 16mm e estribos de 8mm com 13cm de espaçamento entre eles. O coeficiente de segurança da estrutura foi de 4,27.

A estrutura de 9 metros (representando 3 subsolos), por se tratar de uma estrutura com porte maior, fez necessário a utilização de tirante ativo para ajudar no reforço da estrutura. Os tirantes foram espaçados há 2 metros de distância entre eles, com inclinação de 20°, rigidez axial de 5110 kN/m e carga de tensão inicial de 490 kN.

A estrutura foi dimensionada com estaca de 50 cm, armadura longitudinal de 7 barras com 20mm e estribos de 6,3mm com 13cm de espaçamento entre eles. O coeficiente de segurança resultante do dimensionamento foi de 2,84, à favor da segurança.

Foi dimensionado estruturas de muro de arrimo em flexão com concreto armado. Para esse sistema construtivo foi dimensionado simulações de 1 a 4 metros de altura. Para os muros de 1 e 2 metros de altura, a espessura da parede ficou de 20 cm, com barras transversais de 10mm e armadura longitudinal de Ø10c30. As estruturas verticais estão ligadas a um bloco de coroamento de 60 cm. O coeficiente de segurança para a menor estrutura é de 6,9, enquanto que para a maior é de 4,2. Ambas atingiram o mínimo por norma de 1,5.

Para a estrutura com 3 metros de altura, a espessura 20 cm, com barras transversais de 12,5mm e armadura longitudinal Ø10c20. As estruturas verticais estão ligadas a um bloco de coroamento de 60 cm. O coeficiente de segurança é de 3,2, respeitando o mínimo por norma.

Para a estrutura com 40 metros de altura, a espessura 30 cm, com barras transversais de 10mm e armadura longitudinal Ø12,5c15. As estruturas verticais estão ligadas a um bloco de coroamento de 70 cm. O coeficiente de segurança é de 2,7, respeitando o mínimo por norma.

No dimensionamento de muro de gravidade de gabião e de concreto, obteve-se com as dimensões apresentadas os coeficientes de segurança satisfatório, sendo os mesmos superior a 1,5.

Na estrutura de muro de arrimo em alvenaria, para diminuir os diâmetros das armaduras e diminuir as dimensões das vigas, optou-se por colocar a espessura de 30 centímetros, onde as três vigas ficaram com armaduras com diâmetros entre 8 e 5 milímetros e pilares com armaduras entre 12,5 e 6,3 milímetros, suportando o empuxo e a carga sobre o tardo de 3,92 kN/m².

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros:

Orçamentação para as contenções e arrimos mais usuais da cidade de Cascavel-PR.

Elaboração de cartilha para auxílio na escolha de taludes para o solo de Cascavel-PR.

Elaboração de cartilha para auxílio na escolha de contenções e arrimos para o solo de outra localidade.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas. NBR 11682 (1991), Estabilidade de taludes. Rio de Janeiro.

ADÃO, F. X.; HEMERLY, A. t. ex.: 3 Chequetto. **Concreto armado: novo milênio: cálculo prático e econômico**. 2. ed. rev e atual. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2010.

ALMEIDA, M. A, OLIVEIRA, R. M. M.. **Estimativa do ângulo de atrito e coesão através de índices de resistecia obtidos pela sondagem SPT em solo laterítico e colapsível característico da cidade de Cascavel no estado do Paraná**. 2018.

BRITO, J.; FRANÇA, P. **Paredes tipo Munique e Berlim**. IST, Lisboa, 1999.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Mecânica das Rochas – Fundações – Obras de Terra**. 6.ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 2000.

CAPUTO, P. H. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos**. 6.ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 2000.

CHIOSSI, N.J. **Geologia de Engenharia**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

FIAMONCINI, C. M. **Estabilização de talude através da técnica de cortina atirantada - estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma 2009.

JR, A. N; RANZINI, S. M. T. et al. **Fundações: Teoria e Prática**. 2.ed. São Paulo: Pini, 1998.

MARZIONNA, et al. **Fundações: teoria e prática**. 2.ed. São Paulo: PINI, 1998. ISBN PINI.

MEDEIROS, A. **Análise numérica de estruturas de contenção em balanço e grampeadas do tipo “estaca justaposta” assentes em solo poroso do df**. 2005. Tese de Doutorado. Dissertação (mestrado), Brasília: Universidade de Brasília.

MOLINA, M. D.; GANDIN, R. M. **Determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento através do ensaio de compressão triaxial rápido (CU) do subsolo da FAG em Cascavel (PR)**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel/PR.

MOLITERNO, A. **Caderno de muros de arrimo**. Edgard Blucher, 1994.

MOORMANN, C. **Analysis of wall and ground movement due to deep excavation in soft based on a new worldwide database**. Soils and Foundations, v.44, n.1, p.87-98, 2004.

MOTA, R. J. **Análise da interação solo-estrutura de uma obra de contenção na cidade de Goiânia-GO**. 2009.

OLIVEIRA, L. H. B. **Modelagem Numérica de uma Estrutura de Contenção de Estacas Espaçadas Atirantadas em Areia**. Dissertação. UFRN, Natal, 2014.

ORTIGÃO, J. A. R.; ZIRLIS, A.; PALMEIRA, E. M. **Experiência com solo grampeado no Brasil**: 1970-1993. Solos e rochas, v. 16, n. 4, 1993.

PINI. **Projeto Parede Diafragma**. Disponível em: <http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/82/plantas-parede-diafragma343758-1.aspx>. Acesso em: 7 de março de 2018.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos 2006.

SILVA, F. B. **“Parede-diafragma em solos de alta resistência e rochas com uso de hidrofresa”**, Artigo disponível em < <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/182/artigo286914-1.aspx>> . Acesso em: 13 de abril de 2018.

SIMONS, N. E; MENZIES, B. K. **Introdução a Engenharia de Fundações**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1981.

SOUSA JUNIOR, R. P.; NORONHA. E. H. **Influência dos Critérios de Dimensionamento no Orçamento de Cortinas Atirantadas**. 2016.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

VOLPATO, A. L. **Determinação da Resistência ao Cisalhamento de Um Solo Argiloso e Laterítico Característico da Região de Cascavel/Pr Com Adição de Cal Hidratada**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel/PR.

ZEN, B. A. B. **Caracterização geotécnica do subsolo do campo experimental do Centro Acadêmico da FAG em Cascavel/PR**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel/PR.

ZEN, B. A. B., ALMEIDA, M. A. **Implantação e caracterização geotécnica do campo experimental de engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz em Cascavel/PR**. 2018.

APÊNDICE

CARTILHA PARA AUXILIO NA ESCOLHA DE ARRIMO E CONTENÇÃO PARA O SOLO DE CASCAVEL-PR.



APRESENTAÇÃO

Com o crescimento da frota nacional de veículos se faz necessário a realização de pisos garagens em prédio, geralmente situados no subsolo ou até mesmo contenções de encostas de novas rodovias. Para tanto, é preciso conhecimento sobre a dinâmica das estruturas que irão conter o maciço de solo. Em vista disso, esta cartilha tem como objetivo auxiliar o dimensionamento de estruturas de contenção e muros de arrimos usuais, tendo como base perfil típico do solo de Cascavel – Paraná. A metodologia do trabalho consistiu no estudo dos principais sistemas de contenções e muros de arrimos para o perfil de solo de Cascavel-PR, fazendo uma análise construtiva com posterior dimensionamento econômico dessas estruturas, com a utilização de programas conceituados no mercado. Pode-se verificar que, conforme o aumento da profundidade, maior a quantidade de maciço a ser contido, portanto, maior a estrutura responsável por conter o mesmo.

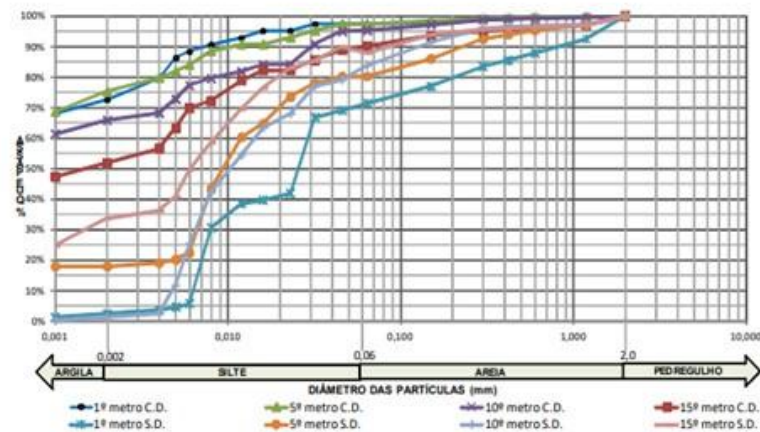
AVISOS:

- Esta cartilha pode ser usada apenas considerando o solo da cidade de Cascavel-PR;
- Nos dimensionamentos foi desconsiderada a presença de lençol freático no solo;
- Não foi considerado nenhum tipo de estrutura ou equipamento para drenar a água.



CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DE CASCAVEL-PR

De acordo com Zen e Almeida (2018), com dados retirados do Campo Experimental do Centro Universitário Assis Gurgacz, foi constatado que o solo de Cascavel é classificado como Argila Silto Arenosa, apresentando uma média de 65% argila, 29% Silte e 6% areia.



Os valores médios de peso específico, ângulo de atrito e coesão, para cada camada, foram obtidos a fim de projetar-se o mais real possível e a favor da segurança.

Camada	Cotas (m)	Peso específico (kN/m ³)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (kN/m ²)
01	01 a 09	16,68	18,11	18,5
02	09 a 15	16,15	24,76	39,2

Para fins do dimensionamento, foi definida uma carga padrão distribuída no tardo de 3,92 kN/m² e muros de 10 metros de comprimento. E, além disso, foi respeitado grau de segurança em níveis altos, assim como a máxima tensão admissível que se estabelece de acordo com o solo e com as dimensões do muro.

DADOS PARA DIMENSIONAMENTO

Foram dimensionadas contenções de 3, 6 e 9 metros de altura para Gabião e cortina de estaca escavada. Para fins desse trabalho, o dimensionamento de cortina de estaca foi realizado representando a pior situação possível, ou seja, considerando a escavação sem a execução de lajes de escoramento. A determinação dessas alturas, foi levada em consideração a escavação de até três subsolos com pé direito de três metros.

Já para os muros de flexão, gravidade em concreto e de arrimo em alvenaria, as alturas estabelecidas foram de acordo com o mais usual na cidade de Cascavel-PR. O muro de flexão foi armado em toda a estrutura. Devido às características de solo, foi adotada fundação com estacas escavadas com blocos de coroamento. Quanto ao muro em alvenaria, adotou-se a vedação em bloco cerâmico, com fundação sobre estacas escavadas, com altura de 3 metros, sendo esta o limiar do viável e econômico para o método construtivo, sem utilização de tirantes ou outros sistemas auxiliares. O muro de gravidade em concreto limitou-se às alturas de 1 e 3 metros, também devido à limitação da viabilidade econômica. Dessa forma, o dimensionamento limitou-se nas dimensões descritas na tabela a seguir.

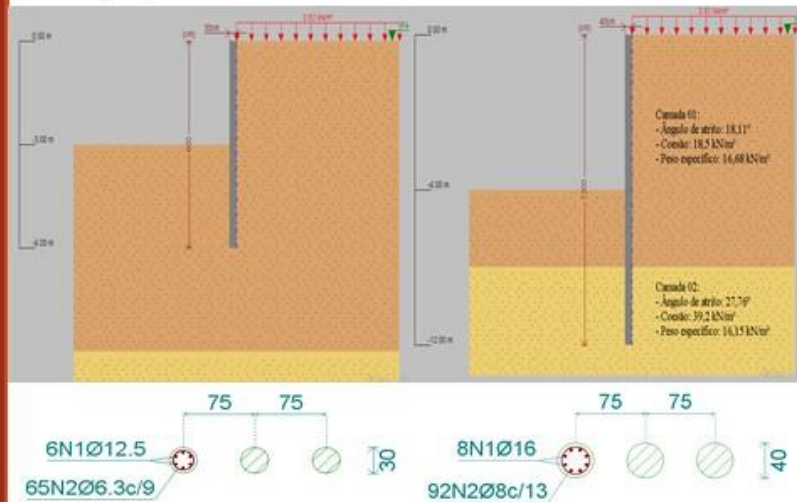
Tipo de contenção	Altura (m)
Muro de flexão	01 a 04
Muro de gravidade em concreto	01 e 03
Muro de arrimo em alvenaria	03

O *software GawacWin 2.0* leva em consideração os coeficientes de segurança de deslizamento, tombamento e ruptura global do solo, assim como a máxima tensão admissível. Diferente do primeiro, o programa *CypeCad* verifica as dimensões pré-lançadas pelo usuário, verificando diretamente com a NBR 6118:2014, NBR 14762:2010 e NBR 8800:2008.

CORTINA DE ESTACAS

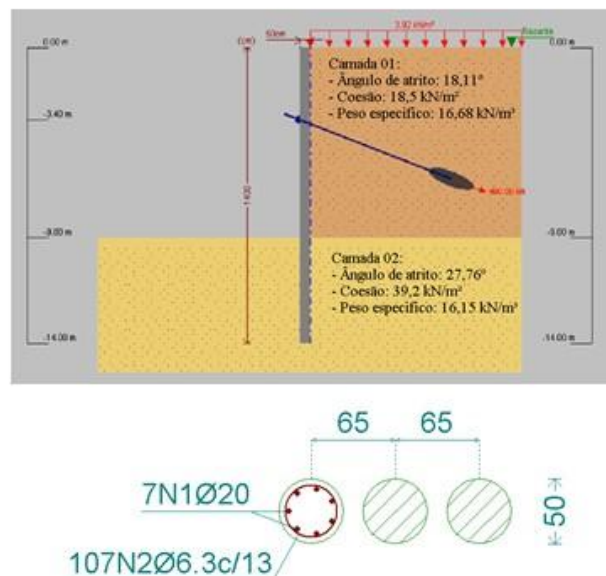
3, 6 e 9 metros de altura

Optou-se por utilizar estacas escavadas com altura de corte de 3 e 6 metros, por se tratar de um sistema de contenção mais usual para a cidade de Cascavel-PR. O espaçamento entre eixos das estacas foi de 2,5 vezes o diâmetro da estaca. O concreto utilizado foi C20, também por ser o mais usual. Como podemos ver nas figuras a seguir as dimensões do dimensionamento e suas armaduras para 3 e 6 metros, respectivamente.



Evitou-se a utilização de tirantes, a fim de baratear os custos da estrutura de contenção, porém devido aos grandes esforços exigidos para a estrutura com altura de 9 metros, foi utilizado uma linha de tirantes ativos, a fim de ajudar na contenção do maciço de solo.

Os tirantes foram posicionados há 2 metros de distância um do outro e com 20° de inclinação, por ser melhor inclinação para solos argilosos. A altura da posição da linha de tirantes ficou 3,50 metros abaixo da linha de rasante. Na figuras a seguir podemos ver as dimensões e a armadura.



MURO DE GABIÃO

3, 6 e 9 metros de altura

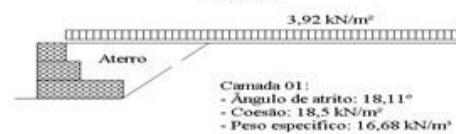
Na modelagem do caso hipotético em gabiões, foi utilizado camadas de caixa com 1 metro de altura, por ser o mais usual. O peso específico da pedra de $14,3 \text{ kN/m}^3$, porosidade de 30% e inclinação de 0° para se chegar ao máximo de caso desfavorável. A malha do arame que molda a caixa foi especificada em 8×10 com diâmetro de 2,4 mm.

O comprimento da base das camadas varia devida sua função de estabilizar o muro, e a ponta do arrimo. Segue Tabela ilustrando as estruturas nos muros com 3, 6 e 9 metros de altura.

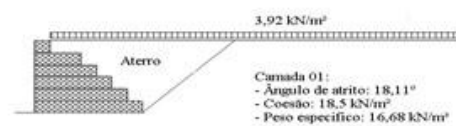
3 metros		6 metros		9 metros	
Camada	Comp. (m)	Camada	Comp. (m)	Camada	Comp. (m)
1	3,00	1	7,00	1	12,00
2	1,50	2	6,00	2	11,00
3	1,00	3	5,00	3	9,00
		4	4,00	4	8,00
		5	3,00	5	7,00
		6	1,00	6	6,00
				7	5,00
				8	3,00
				9	1,00

Nos perfis representados nas figuras a seguir, conseguimos verificar a distribuição das camadas de solo, como também a distribuição das camadas das caixas do gabião.

1 metro



3 metros



9 metro



MURO DE GRAVIDADE EM CONCRETO

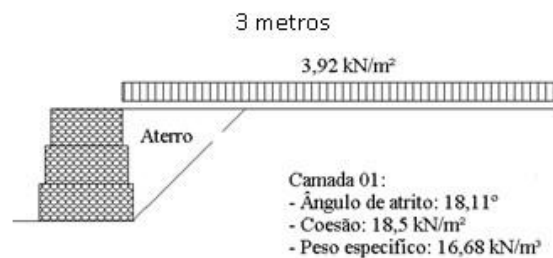
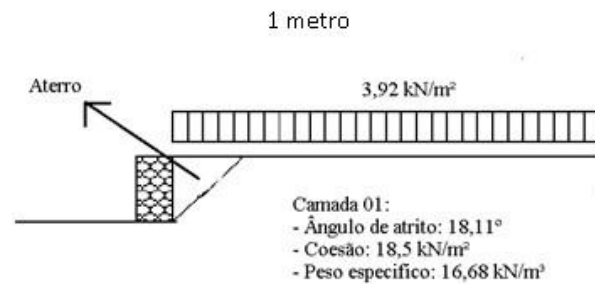
1 e 3 metros de altura

Foram utilizadas camadas com 1 metro de altura, de modo que sua distribuição final tome forma o mais próximo possível de um cone. A porosidade utilizada foi de 0% considerando a pior situação, onde o muro seria impermeável causando um acúmulo de água no tardo, assim aumentando o empuxo ativo.

Para o muro com altura de 1 metro a camada ficou com comprimento de 0,52 metros e para o de 3 metros o comprimento das camadas está representado na tabela a seguir.

Camada	Comprimento (m)
1	2,50
2	2,20
3	1,90

Nos perfis mostrados nas figuras a seguir, consegue-se ver a distribuição das camadas de solo, assim como a representação do muro para 1 e 3 metros.



Camada 02:

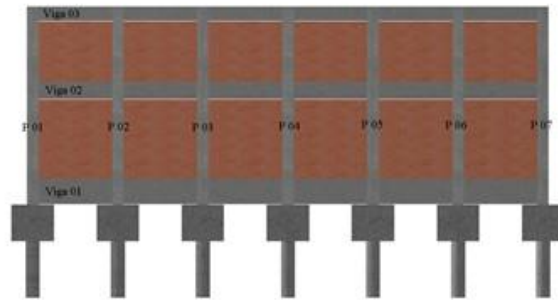
- Ângulo de atrito: 27,76°
- Coesão: 39,2 kN/m²
- Peso específico: 16,15 kN/m³

MURO DE FLEXÃO EM ALVENARIA

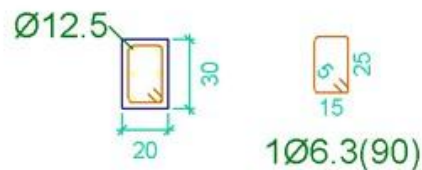
3 metros de altura

A fundação escolhida para o muro foi de blocos de coroamento e estacas, por ser o mais usual para solos colapsíveis, como o solo de Cascavel-PR. O resultado final da estrutura está representado na figura a seguir.

Inicialmente a estrutura foi dimensionada com 20 centímetros de espessura e para permanecer nessa espessura a viga 01 iria ficar com uma altura desproporcional e fora do usual. Com isso optou-se por aumentar a espessura de todas as vigas e alvenaria para 30 centímetros. Na figura seguinte, mostra como ficou a distribuição do muro.



A armadura ficou igual para todos os pilares, sendo as representadas na figura a seguir.



As armaduras para as vigas ficaram diferentes entre 01, 02 e 03, como mostrado nas figuras a seguir, respectivamente.

