

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

VITOR IANN MOREIRA ARAÚJO

ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO APLICADAS EM RODOVIAS

NATAL/RN
2020

VITOR IANN MOREIRA ARAÚJO

ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO APLICADAS EM RODOVIAS

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. PhD. Fabio Sérgio da Costa Pereira.

Professor Externo: Prof. Esp. Mário Nogueira.

Professor Interno: Prof. Dr. Carlos Gomes de Moura.

NATAL/RN

2020

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Araújo, Vitor Iann Moreira.

Estruturas de contenção aplicadas em rodovias/Vitor Iann Moreira
Araújo. – Natal, 2020.

58 f.

Orientador: Prof. PhD. Fabio Sérgio da Costa Pereira.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário
do Rio Grande do Norte.

1. Contenção– Monografia. 2. Rodovia– Monografia. 3. Terra
armada– Monografia. 4. Estaca escavada – Monografia. I. Pereira, Fabio
Sérgio da Costa. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

Larissa Inês da Costa (CRB 15/657)

VITOR IANN MOREIRA ARAÚJO

ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO APLICADAS EM RODOVIAS

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD. Fabio Sérgio da Costa Pereira

Orientador

Prof. Esp. Mário Nogueira

Membro avaliador externo

Prof. Dr. Carlos Gomes de Moura

Membro avaliador interno

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso teve o objetivo em analisar as possíveis utilizações de estruturas de contenção aplicadas em rodovias, onde foi feito um estudo de caso na rodovia BR-101/RN próximo a Avenida Maria Lacerda Monte Negra que utilizou uma estrutura de contenção composta por estacas escavadas apresentando uma possível viabilização da substituição da atual contenção da rodovia por outro tipo de contenção que seja mais prática, mais viável economicamente e que atenda as especificações normativas construtivas e estruturais. O tipo de contenção escolhido para a análise foi a de terra armada, que atualmente vem tendo maior destaque nessa área de contenções de rodovias, apresentando ser mais viável economicamente, mais prática, com menor tempo de construção e maior durabilidade das demais do mercado, tomando como base uma análise de custo realizada por GASPAR(2016), onde se analisou o custo de três estruturas de contenção (muro de gravidade, terra armada, solo reforçado) na qual também se concluiu ser a técnica de terra armada a mais rápida, prática, durável e com menor custo.

Palavras-chave: Contenção. Rodovia. Terra armada. Estaca escavada.

ABSTRACT

The present work had as objective to analyze the possible uses of containment structures applied in highways, where a case study was made in the highway BR-101/RN near the Avenue Maria Lacerda Monte Negra that used a containment structure composed of excavated piles providing a possible possibility of replacement of the current containment of the highway with another type of containment that is more practical, more economically viable and that meets the constructive and structural normative specification. The type of containment chosen for the analysis was that of armed land, which currently has more prominence in this area of highway containment, presenting to be more economically viable, more practical, with less construction time and greater durability of the rest of the market. Taking as the theoretical framework for this work a cost analysis conducted by Gaspar (2016), where the cost of three containment structures (gravity wall, armed land and reinforced soil) was analyzed, in which, it may be concluded, as the fastest, practical, durable and cost-effective armed land technique.

Keywords: Containment. Highway. Armed land. Excavated pile.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de estrutura de contenção – a) Estrutura rígida – b) Estrutura flexível.....	12
Figura 2 - Muro de arrimo em rodovia	13
Figura 3 - Muro de contenção aramado.....	14
Figura 4 - Solo grampeado em rodovia.....	14
Figura 5 - Percurso que foi destinado à obra.....	17
Figura 6 - Muros de concreto ciclópico.....	19
Figura 7 - Muro de alvenaria de pedra.....	20
Figura 8 - Contenção em solo cimento.....	21
Figura 9 - Contenção com muros de pneus.....	22
Figura 10 - Muro Cribwall.....	22
Figura 11 - Esquema de tirante.....	23
Figura 12 - Cortina cravada.....	24
Figura 13 - Execução parede diafragma.....	25
Figura 14 - Detalhamento do grampo.....	25
Figura 15 - Seção transversal de muro com reforço de geossintético.....	26
Figura 16 - Plano transversal e perspectiva do sistema de terra armada.....	27
Figura 17 - Muro de gabião.....	28
Figura 18 - Muro de flexão para corte.....	28
Figura 19 - Segurança contra o tombamento.....	29
Figura 20 - Segurança contra o deslizamento.....	31
Figura 21 - Gráfico comparativo de custos entre técnicas de contenção avaliadas.....	40
Figura 22 - Aumento percentual dos custos com o aumento dos desníveis de contenção.....	41
Figura 23 - Passagem inferior Avenida Maria Lacerda Montenegro.....	45
Figura 24 - Corte 1.....	45
Figura 25 - Locação das estacas.....	46
Figura 26 - Detalhe da armadura.....	46
Figura 27 - Implatação das vigas.....	47
Figura 28 - Elevação lateral direita.....	47
Figura 29 - Elevação lateral esquerda.....	47

Figura 30 – Armaduras.....	47
Figura 31 - Locação das estacas.....	48
Figura 32 - Seção longitudinal.....	48
Figura 33 - Seção transversal.....	48
Figura 34 – Seção longitudinal.....	49
Figura 35 - Seção transversal.....	49
Figura 36 - Seção longitudinal.....	49
Figura 37 - Seção transversal.....	49
Figura 38 - Seção longitudinal.....	50
Figura 39 - Seção transversal.....	50
Figura 40 - Seção logitudinal.....	50
Figura 41 - Seção transversal.....	50
Figura 42 - Locação das estacas.....	51
Figura 43 - Seção longitudinal.....	51
Figura 44 - Seção transversal.....	51
Figura 45 - Locação das estacas.....	51
Figura 46 - Seção longitudinal.....	52
Figura 47 - Seção transversal.....	52
Figura 48 - Locação das estacas.....	52
Figura 49 - Seção longitudinal.....	52
Figura 50 - Seção transversal.....	53
Figura 51 - Locação das estacas.....	53
Figura 52 - Seção longitudinal.....	53
Figura 53 - Seção transversal.....	53
Figura 54 - Locação das estacas.....	53
Figura 55 - Seção longitudinal.....	54
Figura 56 - Seção transversal.....	54
Figura 57 - Detalhamento da armadura.....	54
Figura 58 - Detalhamento da armadura.....	54
Figura 59 - Detalhamento revestimento das estacas.....	55
Figura 60 - Gráfico comparativo de custos entre técnicas de contenção avaliadas.....	56

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	27
Equação 2.....	27
Equação 3.....	28
Equação 4.....	28
Equação 5.....	28
Equação 6.....	29
Equação 7.....	29
Equação 8.....	30
Equação 9.....	30
Equação 10.....	30
Equação 11.....	31
Equação 12.....	32
Equação 13.....	32
Equação 14.....	32
Equação 15.....	32
Equação 16.....	32
Equação 17.....	34
Equação 18.....	34
Equação 19.....	34
Equação 20.....	34
Equação 21.....	34
Equação 22.....	34
Equação 23.....	34
Equação 24.....	34
Equação 25.....	35
Equação 26.....	35
Equação 27.....	35
Equação 28.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	GERAL	15
2.2	ESPECÍFICOS	15
3	JUSTIFICATIVA	16
4	METODOLOGIA.....	17
4.1	UTILIZAÇÕES DE MURO DE TERRA ARMADA.....	17
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
5.1	ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO	19
5.1.1	Tipos de estrutura de contenção.....	19
5.1.1.1	Muro de gravidade com concreto ciclópico	19
5.1.1.2	Muro de gravidade em alvenaria de pedra.....	20
5.1.1.3	Muro de saco solo-cimento	20
5.1.1.4	Muro de pneus	21
5.1.1.5	Cribwall	22
5.1.1.6	Cortina de concreto atirantada.....	22
5.1.1.7	Cortina cravada.....	23
5.1.1.8	Parede diafragma	24
5.1.1.10	Solo reforçado.....	26
5.1.1.11	Muro de gabião	27
5.1.1.12	Muro de flexão em concreto armado	28
5.1.2	Estabilidade da estrutura	29
5.1.2.1	Estabilidade contra o tombamento.....	29
5.1.2.2	Segurança contra o deslizamento.....	30
5.1.3	Métodos de dimensionamento empregados	31
5.1.3.1	Muro de gravidade	32

5.1.3.2	Terra armada	33
5.1.3.3	Solo reforçado com geossintético	35
5.2	CUSTOS CONSIDERADOS NA CONSTRUÇÃO DOS MUROS	38
6	ESTUDO DE CASO.....	43
6.1	PROJETO DE EXECUÇÃO DAS FUNDAÇÕES DA RODOVIA	45
6.2	PROJETO DE EXECUÇÃO DAS CONTENÇÕES DA RODOVIA.....	47
7	RESULTADOS OBTIDOS.....	56
7.1	SISTEMA DE CONTENÇÃO UTILIZADA.....	56
7.2	COMPARAÇÃO COM OUTROS TIPOS DE CONTENÇÃO.....	56
8	CONCLUSÃO.....	58
	REFERENCIAS.....	59

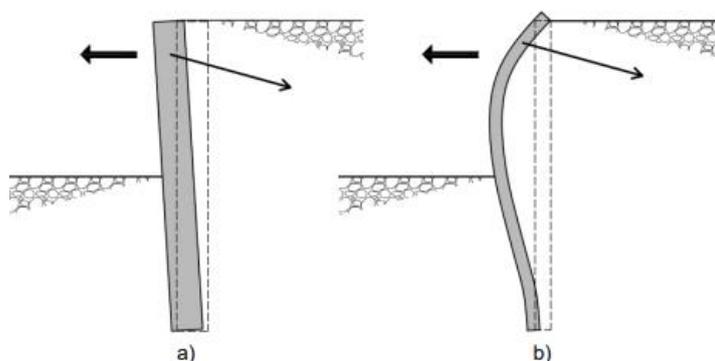
1 INTRODUÇÃO

As estruturas de contenção são obras de engenharia civil necessária para resistir a empuxos de terra ou água, cargas estruturais e quaisquer outros esforços induzidos por estruturas ou equipamentos adjacentes. Hoje em dia, temos várias classificações de sistemas de contenções como contidas, em talude, provisórias, escavações contidas ou não, definitivas, rígidas, flexíveis, escoradas e não escoradas (VAMBERTO, 2016).

As contenções classificadas do tipo rígido são em sua maioria verticais ou quase verticais, onde geralmente são compostas de concreto (simples ou armado) ou de alvenaria. Nesse tipo de contenção o seu peso próprio exerce uma contribuição significativa para estabilidade da estrutura, ficando sujeita apenas a deslocamento de translação e de rotação e não apresenta praticamente deformações por flexão.

Já as contenções do tipo flexível são estruturas relativamente de pouca espessura, um tipo de estrutura de contenção que é levado em conta a utilização dela em relação às rodovias, apresentando um tempo de execução menor e custo inferior. De acordo com as estruturas de contenção flexíveis como cortinas que experimentam em serviço deformações por flexão e essas deformações são susceptíveis de condicionar a grandeza e a distribuição dos empuxos (TERZAGHI, 1943).

Figura 1 - Tipos de estrutura de contenção – a) Estrutura rígida – b) Estrutura flexível



Fonte: PUC-Rio.

Para escolher um tipo de estruturas de contenção se leva em conta

altura da estrutura que vai ser aplicada a contenção, as cargas atuantes, a natureza e características do solo, as condições do NA do local e dentre outros fatores que são levados em contas para escolher o tipo de contenção.

A execução de uma estrutura de contenção pode significar um ônus financeiro muito significativo para a realização de um empreendimento em área de encostas. Esta etapa da obra, mesmo abrangendo uma extensão relativamente pequena, pode, em alguns casos, apresentar custo maior do que a própria edificação a ser construída. Diante disso, ressalta-se a importância de sempre se desenvolver um projeto considerando diferentes opções de estruturas de contenção de forma a atender a segurança necessária ao empreendimento com os menores custos envolvidos (LUIZ, 2014).

Uma área de aplicação de contenções na engenharia civil é a utilização dela em rodovias, onde são contenções necessárias para conter cortes e até aterros necessários à construção e manutenção de rodovias. Um dos tipos mais utilizados em relação a rodovias são as contenções de muro de terra armada que são de concreto armado e chapas de aço, onde ela ganhou espaço através de sua agilidade e praticidade, comparadas aos demais tipos de contenções apresentam um tempo de execução maior e o seu custo é baixo.

Figura 2 - Muro de arrimo em rodovia



Fonte: Solotrat.

Figura 3 - Muro de contenção armado



Fonte: Muro armado contenções LTDA.

Figura 4 - Solo grampeado em rodovia



Fonte: UNICOM ENGENHARIA.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Com o referido estudo, procurou-se apresentar outros tipos de estruturas de contenções que sejam adequadas para substituir a contenção de estaca escavada que se apresenta na rodovia da BR-101 onde foi feita uma passagem inferior próxima Avenida Maria Lacerda Montenegro, levando em conta todos os requisitos para achar uma contenção que atenda todas as exigências que solo e a obra necessitam.

Tendo conhecimento deste cenário, pode-se adicionar a questão econômica da obra da obra com análise orçamentária de outros tipos de contenção mais viáveis economicamente do que a alternativa utilizada de contenção através de estacas escavadas.

No trabalho foi feito um estudo de caso da obra através dos projetos disponibilizado por engenheiro responsável da obra e estudos bibliográficos apresentar tipos contenções através de tcc's, livros e periódicos.

2.2 ESPECÍFICOS

- Fazer um estudo de caso sobre o projeto da rodovia BR-101, e alternativo para correção da rodovia;
- Fazer uma pesquisa dos tipos de contenções e separar as que são mais viáveis para utilizar na rodovia;
- Fazer uma análise de custo, para ver se é viável a substituição dela pela qual foi utilizada no projeto;
- Uma proposição de ideias a obras futuras, dando mais opções de estruturas de contenções em rodovias.

3 JUSTIFICATIVA

Esse estudo foi desenvolvido tendo a finalidade de fazer uma análise do projeto de estrutura de contenção e sua execução da rodovia BR-101/RN próxima a Avenida Maria Lacerda Montenegro, sendo propostas novas alternativas executivas em virtude de a execução aplicada ser tradicional com custo mais elevado com maior tempo de execução. Esse estudo servirá de base para futuras pesquisas complementares sobre o assunto.

Esse estudo pode ser utilizado para influenciar futuras obras rodoviárias que venham a ser feitas em nosso estado servindo de base para escolha de alternativas executivas para a realização da contenção na rodovia analisada.

4 METODOLOGIA

No estudo em questão foi utilizado o projeto da rodovia da BR-101, rodovia localizada na Avenida Maria Lacerda Montenegro.

Onde foi feita uma análise do projeto das estruturas de contenção executada através de estacas escavadas e a proposição de novas metodologias mais modernas possíveis de aplicação.

Figura 5 - Percurso que foi destinado à obra



Fonte: Autor (2020).

4.1 UTILIZAÇÕES DE MURO DE TERRA ARMADA

Nos tempos atuais, no que diz respeito a contenções em rodovias o processo mais comum é muro de terra armada. Onde é utilizada pela sua ótima relação de custo e benefício, sua execução apresentar um prazo de entrega menor se comparar aos demais métodos e atribuir positivamente à estética da rodovia.

Onde nessa primeira parte, vai possuir um foco maior da pesquisa e fazer o

estudo da própria contenção para ver se suas características serão satisfatórias para serem empregadas na rodovia BR 101.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

São estruturas projetadas para resistir a empuxos de terra e/ou água, cargas estruturais e quaisquer outros esforços induzidos por estruturas vizinhas ou equipamentos adjacentes (JOOPERT JR., 2007). Para Barros (2008) a finalidade das estruturas de contenção é auxiliar na estabilidade de maciços, prevenindo sua ruptura através de movimentos de massa causados por seu peso próprio ou ainda por carregamentos externos.

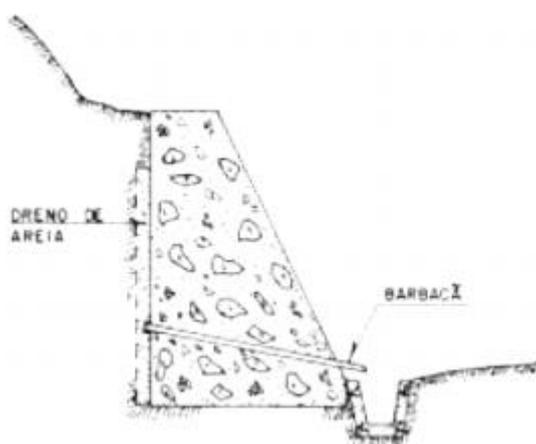
5.1.1 Tipos de estrutura de contenção

5.1.1.1 Muro de gravidade com concreto ciclópico

Estes muros são em geral economicamente viáveis apenas quando a altura não é superior a cerca de 4 metros, além de ser uma estrutura construída mediante o preenchimento de uma fôrma com concreto e blocos de rocha de dimensões variadas (GERSCOVICH, 2013).

Para Bonatto (2015) afirma que a largura da base deste muro deve ser 50% da altura da estrutura. Para gerar uma economia de material, recomenda-se especificá-lo com faces de certo grau de inclinação ou, quando não for possível, deve-se incliná-lo para trás com pelo menos 2 graus em relação à vertical, evitando a sensação de tombamento para frente (PIAZZA, 2018).

Figura 6 - Muros de concreto ciclópico



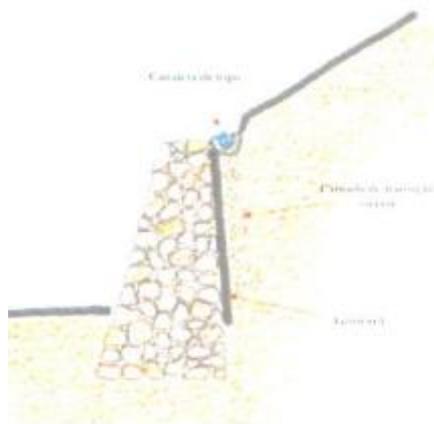
Fonte: Bonatto (2015).

5.1.1.2 Muro de gravidade em alvenaria de pedra

Para Dyminski (2010) e Gerscovich (2013) a utilização de muros de pedra é uma forma econômica de estruturar uma contenção, pois possui uma maneira simples de construção, uma vez que são arrumados manualmente sua resistência está diretamente ligada à disposição das pedras. Da Silva (2012) ressalta uma desvantagem significativa em relação a este método, na qual para assegurar uma instabilidade interna os blocos devem possuir dimensões regulares, o que diminui o atrito entre as pedras.

Muros de pedra sem argamassa devem ser recomendados unicamente para a contenção de taludes com alturas de até 2m. A base do muro deve ter largura mínima de 0,5 a 1,0m e deve ser apoiada em uma cota inferior à da superfície do terreno, de modo a reduzir o risco de ruptura por deslizamento no contato muro-fundação (GERSCOVICH, 2013).

Figura 7 - Muro de alvenaria de pedra



Fonte: Bonatto (2015).

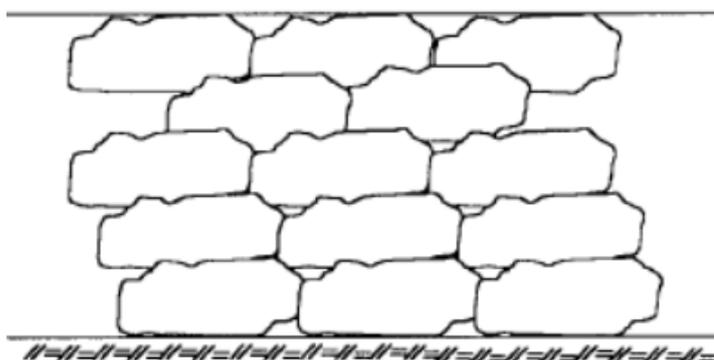
5.1.1.3 Muro de saco solo-cimento

De acordo com Machado (2017) essa técnica apresenta custo reduzido e facilidade e rapidez na execução. Sacos de solo estabilizado com cimento são empilhados desencontrados em relação à camada imediatamente inferior, garantindo assim um maior intertravamento (GERSCOVICH, DANZIGER e SARAMAGO, 2016).

Para garantir a economia e durabilidade do solo-cimento, recomenda-se a utilização de solos que possuam 50 a 90% de areia, pois solos finos, como

argila, apresentam desvantagens como maior consumo de cimento (SANTANA, 2006). Domingues (1997) informa que funcionam por gravidade, são executados a partir do preenchimento de sacos de aniagem ou geossintéticos com solo cimento com teores de 8% a 25 10% de volume de cimento.

Figura 8 - Contenção em solo cimento

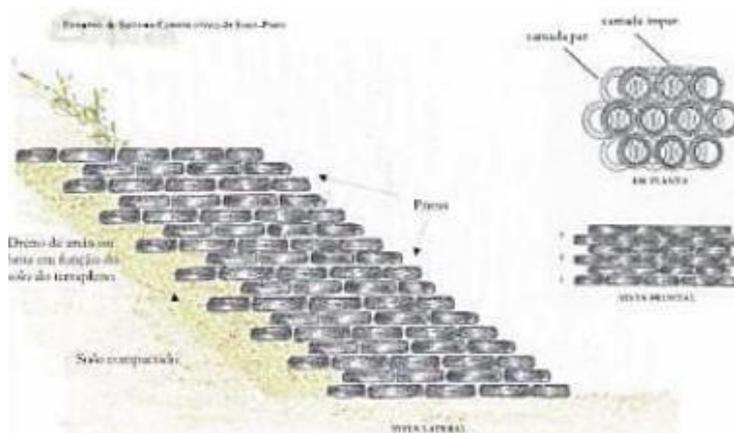


Fonte: Domingues (1997).

5.1.1.4 Muro de pneus

Para Jesus (2013), os muros de pneus, assim como os muros de gravidade, possuem grande flexibilidade e acomodam os recalques sofridos pelo solo. Devido a isso, não são indicados a taludes que suportem cargas de edificações, ferrovias e rodovias, uma vez que estes tipos de obras não admitem deformações em suas bases (PIAZZA, 2018).

Para Piazza (2018) recomenda a utilização desse método de contenção apenas para taludes de até 5 metros de altura, trabalhando assim somente com seu peso próprio.

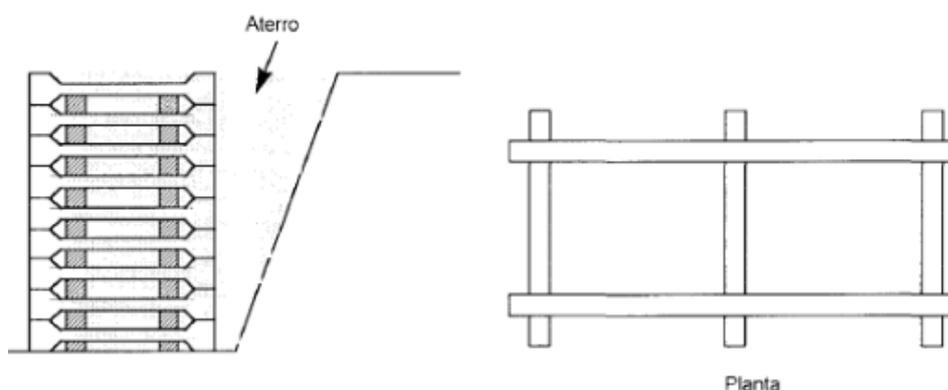
Figura 9 - Contenção com muros de pneus

Fonte: Sieira (1998).

5.1.1.5 Cribwall

É executado a partir de elementos pré-moldados de concreto ou peças de madeira pregadas, como visto na Figura 12, para vencer pequenos desníveis. Seu interior é preenchido com terra compactada para atingir o equilíbrio do sistema (DOMINGUES, 1997).

Corsini (2011) também define cribwall como uma estrutura montada através de uma sobreposição de peças de concreto, com preenchimento de terra ou brita que geralmente é utilizada em obras de rodovias.

Figura 10 - Muro Cribwall

Fonte: Domingues (1997).

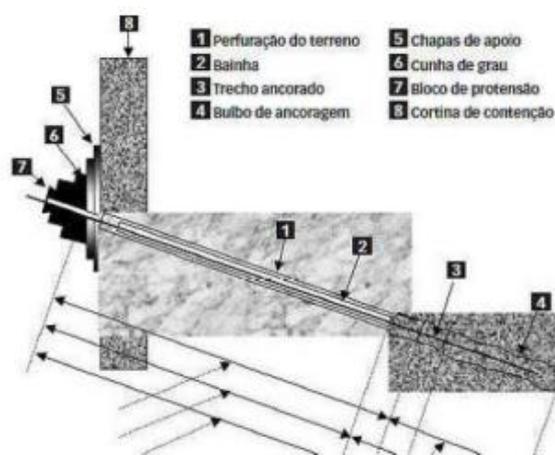
5.1.1.6 Cortina de concreto atirantada

Para Machado (2017) as cortinas atirantadas são, em geral, paredes verticais de concreto armado que possuem tirantes pré-tensionados ancorados

que as prendem no terreno. Atuando contra a parede de concreto a carga aplicada aos tirantes mantém o conjunto estável.

Constituído de tirantes incorporados ao maciço através de uma parede de concreto. A qual o furo por onde as barras são inseridas é preenchido com uma nata de cimento que é lançada a uma alta pressão, criando assim um bulbo responsável pela ancoragem das barras no talude (FERREIRA, 2011).

Figura 11 - Esquema de tirante



Fonte: Corsini (2011).

5.1.1.7 Cortina cravada

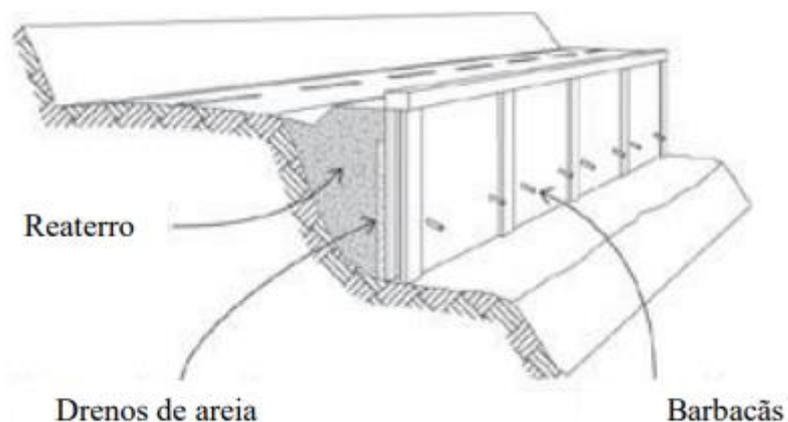
Carvalho (1991) explica que estas estruturas são comumente utilizadas para obras provisórias de contenção de taludes, devido a sua falta de fundações que lhe permitiria sustentar grandes alturas.

Seu método construtivo se baseia na introdução de perfis metálicos, peças de madeira ou estacas pré-moldadas para apoiar verticalmente a construção dos muros de arrimos. A distância nas quais essas peças são colocadas varia com o tipo de solo e a altura da estrutura (PIAZZA, 2018).

É uma estrutura que se caracteriza pelo uso de estacas cravadas no terreno, que trabalham à flexão e resistindo pelo apoio da ficha. Podem ser obras contínuas, quando se faz uso de estacas pranchas, ou descontínuas, quando há um espaçamento entre os perfis, sendo o mesmo preenchido por chapas de madeira ou placas e concreto. Por serem comumente utilizados em obras provisórias, faz-se o uso de perfis metálicos cravados com chapas de

madeira; porém para obras de longa duração e as definitivas, recomenda-se revestir os perfis metálicos com um material anticorrosivo, além de não utilizar pranchas de madeira para preenchimento entre perfis (LEITE, 2011).

Figura 12 - Cortina cravada



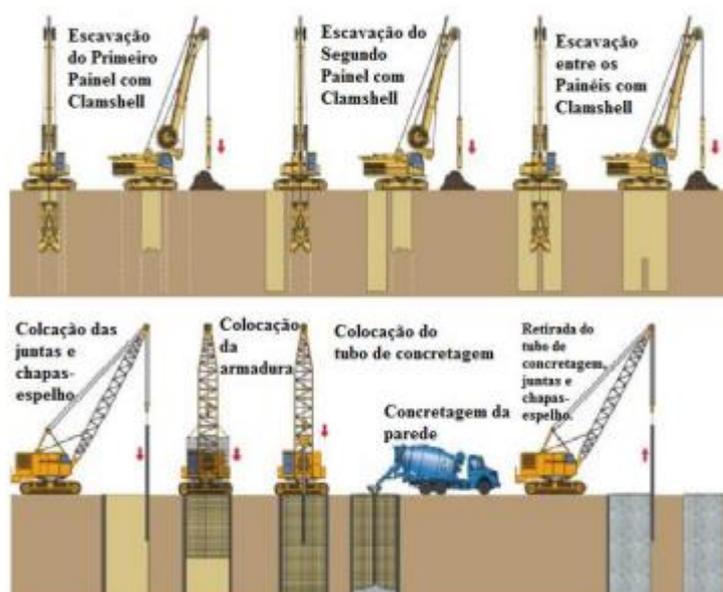
Fonte: Loturco (2004).

5.1.1.8 Parede diafragma

Domingues (1997) afirma “São cortinas de concreto armado, moldadas no solo, em painéis sucessivos, dando origem a uma parede bastante rígida e forte”. É executada a partir da escavação de trincheiras, com aplicação de lama bentonítica para evitar desmoronamentos, colocação da armadura e lançamento do concreto. Por fim, escava-se o restante do solo em frente à estrutura.

Roman (2013) explica que a escavação para este tipo de contenção é feita através de uma garra hidráulica (clamshell) e tem a capacidade de executar paredes de espessuras de 30 a 140 cm, com larguras entre 2,5 a 3,8 metros.

Figura 13 - Execução parede diafragma



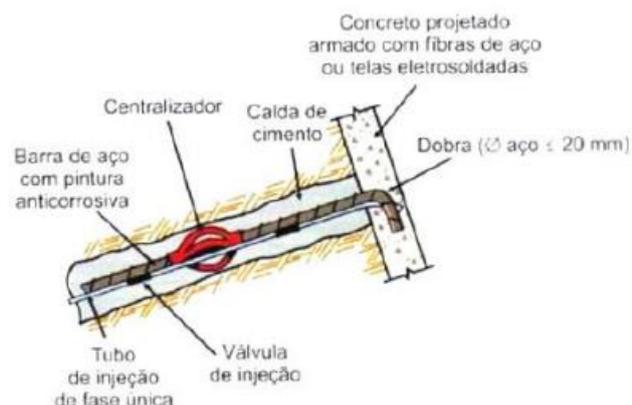
Fonte: Piazza (2018).

5.1.1.9 Solo grampeado

De acordo com Machado (2017) o solo grampeado é uma maneira de reforçar o solo "in situ". Ao inserir corpos semirrígidos (barras de aço) no talude em questão, o mesmo é estabilizado após pequeno deslocamento do solo pela resistência a tração e ao cisalhamento impostas por esses grampos.

Para Dutra (2013), é um método de contenção muito eficiente na estabilização de taludes originários de escavações por meio de reforços do solo no próprio local. Devido à resistência à flexão presente nesses elementos, os grampos transferem tensões de tração e cisalhamento para o solo ao longo de toda a sua extensão.

Figura 14 - Detalhamento do grampo

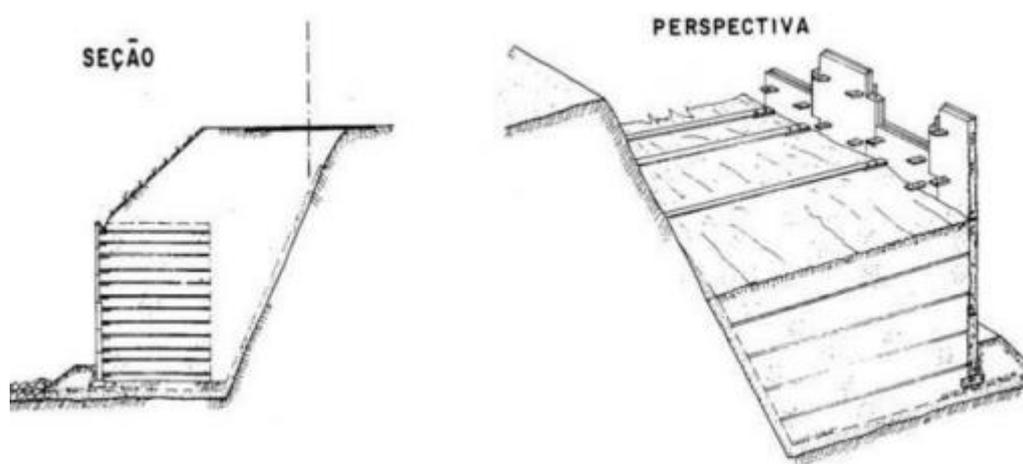


Fonte: Gerscovich (2013).

b. Terra armada

O objetivo deste sistema é redistribuir a pressão no interior do talude a partir da inserção gradativa de placas de concreto pré-moldadas juntamente com tiras metálicas presas às placas (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008; CORSINI, 2012). Dyminski (2010) ressalta que essas placas não possuem função estrutural, apenas auxiliam a proteção na face do talude.

Figura 16 - Plano transversal e perspectiva do sistema de terra armada



Fonte: Gerscovich (2013).

5.1.1.11 Muro de gabião

De acordo com Barros (2008) “explana que o muro gabião é um muro de gravidade flexível constituído de elementos metálicos feitos com telas de malha hexagonal de dupla torção, preenchidos com pedras basálticas e granito. Este tipo de contenção é construído com o intuito de suportar permanentemente, através de seu próprio peso, uma massa de solo que se encontra em risco de movimentação do solo”.

Suas dimensões atingem normalmente 2 metros de altura com 1 metro de largura em suas arestas; caracterizados por serem “estruturas relativamente deformáveis e drenadas” (DA SILVA, 2012).

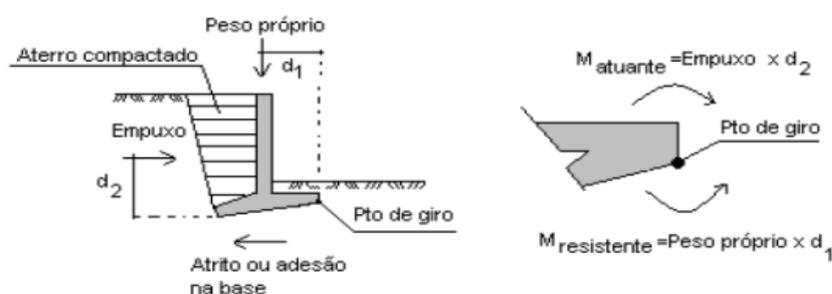
Figura 17 - Muro de gabião

Fonte: Escola Engenharia (2019).

5.1.1.12 Muro de flexão em concreto armado

Para Ranziniet al. (1998), os muros de flexão possuem seção em “L” e são estruturas esbeltas que resistem aos empuxos por flexão através do apoio de sua base utilizando parte de seu peso próprio para tal feito. Para Gerscovich (2013) este tipo de contenção não é econômico para grandes alturas, pelo alto custo de seus materiais e pela necessidade da utilização de contrafortes para aumentar sua estabilidade ao tombamento.

Pinto (2013) afirma que existem dois tipos de muros de flexão: para aterro, onde são projetados de modo a suportar os empuxos por flexão, utilizando parte do peso próprio da estrutura, sobre a base do “L”, para manter-se em equilíbrio; e à flexão para corte, nos quais transmitem as pressões geradas pelos empuxos ativos ao solo de apoio pela sapata de fundação dos muros sem a contribuição de parte do maciço a ser estabilizado.

Figura 18 - Muro de flexão para corte

Fonte: Pinto (2013).

5.1.2 Estabilidade da estrutura

5.1.2.1 Estabilidade contra o tombamento

Segundo Gerscovich (2009), o momento resistente deve ser maior do que o momento solicitante para que o muro não sofra tombamento em torno da extremidade externa. Sendo o momento resistente correspondente ao momento gerado pelo peso do muro e o momento solicitante definido como o momento do empuxo total atuante, com isso o coeficiente de segurança contra o tombamento é definido pelas Equações 1 e 2.

$$1. FStomb = M_{res} / M_{solic} \geq 2,0$$

$$2. FStomb = \frac{w.x_1 + E_{av}.x_2}{E_{ah}.y_1} \geq 2,0$$

Onde:

W: força peso;

X1; distância da base do muro ao centro;

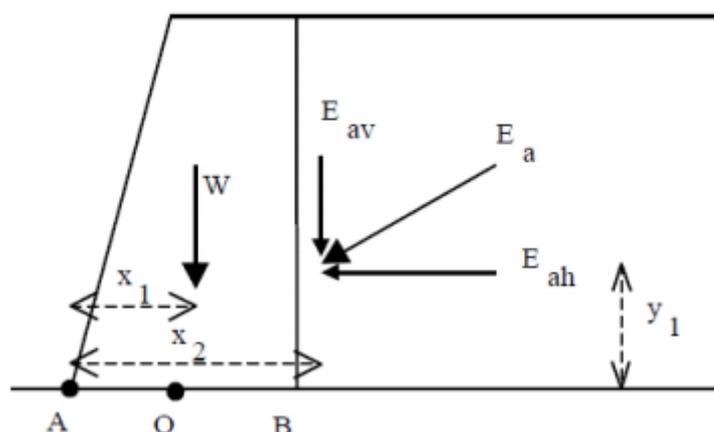
Eav: componente vertical do empuxo;

X2: base do muro;

Eah: componente horizontal do empuxo;

Y1: altura de aplicação do empuxo.

Figura 19 - Segurança contra o tombamento



Fonte: Gerscovich (2009).

A segurança contra tombamento da massa reforçada é definida pela

razão entre o momento estabilizante proporcionado pelo peso do muro e momento instabilizante gerado pelo empuxo de solo, sendo determinado pela Equação 3.

$$3. \quad FSt = \frac{(\gamma_1 H + q) \cdot (Lr)^2}{2E \cdot ye} \geq 2,0$$

Onde: γ_1 : peso específico do solo;

H: altura do maciço reforçado;

q: sobrecarga uniformemente distribuída sobre o terrapleno;

Lr: comprimento do reforço ou largura da base da massa de solo reforçado;

E: empuxo ativo;

Ye: altura de aplicação do empuxo.

Pode-se determinar a largura da massa reforçada a partir da Equação 4.

$$4. \quad Lr = \sqrt{\frac{2FSt \cdot E \cdot ye}{(\gamma_1 H + q)}}$$

FSt : fator de segurança ao tombamento;

E: empuxo ativo;

Ye: altura de aplicação do empuxo.

γ_1 : peso específico do solo;

H: altura do maciço reforçado;

q: sobrecarga uniformemente distribuída sobre o terrapleno;

5.1.2.2 Segurança contra o deslizamento

Barros (2015) determina o fator de segurança contra o deslizamento verificando o equilíbrio das componentes horizontais das forças atuantes, com o auxílio de um fator de segurança, calculado segundo a Equação 5.

$$5. \quad FS_{desliz} = \frac{W_{muro} \cdot \tan \delta + \frac{E_p}{2}}{E_a} \geq 1,5$$

Onde:

W_{muro} = peso do muro ou do solo sobre o tardo (kN/m);

E_p = empuxo passivo (kN/m);

E_a = empuxo ativo (kN/m);

δ = ângulo de atrito solo-muro (°).

As forças atuantes são mostradas na Figura 25 e o ângulo de atrito solo-muro pode ser calculado conforme a Equação 6.

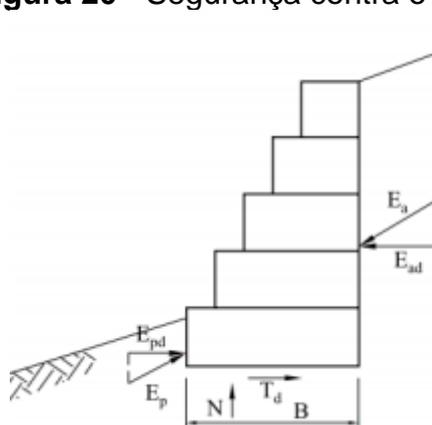
$$6. \quad \frac{2}{3} \cdot \tan\theta$$

Sendo:

δ = ângulo de atrito solo-muro (°);

ϕ = ângulo de atrito do solo (°).

Figura 20 - Segurança contra o Deslizamento



Fonte: Barros et al. (2015)

5.1.3 Métodos de dimensionamento empregados

Ao projetar uma contenção, o engenheiro deve avaliar a estabilidade interna e externa da estrutura. A estabilidade externa é assegurada por meio das verificações clássicas a seguir:

a. Verificação de segurança ao deslizamento:

$$7. \quad FS = \frac{y \cdot H \cdot B \cdot \tan\phi}{0,5 \cdot y \cdot H^2 \cdot kA} \geq 1,5$$

b. Verificação de segurança ao tombamento:

$$8. \quad FS = \frac{W \cdot \frac{B}{2}}{E \cdot \frac{H}{3}} \geq 2,0$$

c. Verificação das tensões na base:

c.1 Excentricidade da resultante normal das forças que atuam na base do muro:

$$9. e = \frac{K_a \cdot H^2}{6 \cdot B} \leq \frac{B}{6}$$

c.2 Capacidade de carga da fundação:

$$10. FS = \frac{\sigma_r}{\sigma_a} \geq 2,5$$

γ = Peso específico do solo

H = Altura do muro

B = Base

Φ = Ângulo de atrito

K_a = Coeficiente de empuxo

W = Peso do muro E = Empuxo

σ_r = Tensão resistente do solo

σ_a = Tensão admissível do solo

d. Estabilidade global: foi verificada para todos os projetos através do software Geoslope, atendendo a um coeficiente de segurança mínimo de 1,5.

No que diz respeito a estabilidade interna, cada técnica de contenção possui um método próprio de verificação, que será identificado nos itens que seguem.

5.1.3.1 Muro de gravidade

O muro de gravidade tem como princípio básico a estabilização de um aterro através do seu peso próprio que impede o tombamento e deslizamento do muro. Exatamente por isso, ele precisa de uma estrutura robusta e bastante pesada, o que dispensa o projetista de fazer qualquer tipo de verificação de estabilidade interna da estrutura do muro.

O dimensionamento do muro foi feito segundo Marchetti (2007), quanto ao formato de pré-dimensionamento, para depois fazer as verificações de

estabilidade externa e adequar as medidas. A estrutura é de concreto ciclópico, com concreto simples ($f_{ck}=20\text{Mpa}$) e formato trapezoidal.

5.1.3.2 Terra armada

O muro de contenção em terra armada é uma estrutura de aterro compactado, reforçado com armaduras metálicas que interagem com o solo através do atrito solo-armadura. Essa interação, juntamente a um paramento flexível executado em concreto armado, promovem a estabilização do talude vertical.

Os projetos de terra armada são do tipo Greide (o topo do paramento coincide com o topo do aterro a ser contido), foram executados seguindo-se todas as recomendações da norma NBR9286/86. A vida útil adotada foi maior que 30 anos e a obra se enquadra na característica de não inundável. As armaduras utilizadas são fitas metálicas nervuradas com tensão de escoamento (f_y) igual a 250.000 kN/m^2 , zincadas de acordo com o que determina a norma NBR 6323 e a vida útil mínima adotada foi de 70 anos. O paramento é composto por “escamas” de concreto armado que são montadas a medida que o aterro é executado e as fitas inseridas.

Para garantir a estabilidade interna precisou-se verificar a ruptura das fitas na seção de tração máxima e na seção de fixação da armadura ao paramento, tendo em vista a redução de seção devido ao furo do parafuso. Além disso, também foi verificado a aderência das armaduras ao solo. Apresenta-se a seguir os passos tomados para o dimensionamento da contenção em terra armada.

- a. Força de tração máxima ($T_{m\acute{a}x}$) na armadura para cada nível de reforço é dada por:

$$11. T_{m\acute{a}x} = \frac{S_v \times \sigma_h}{1/S_h}$$

S_v = espaçamento vertical entre reforços.

S_h = espaçamento horizontal entre reforços.

σ_h = tensão geostática horizontal.

- b. O coeficiente de atrito aparente (f^*) para aterros compactados cuja a

granulometria atenda aos critérios definidos para os tipos A e B (Tabela 1 – NBR9286) é dado por:

$$12. f^* = f_0 * \left(1 - \frac{z}{6}\right) + tg \varphi, \text{ para } z < 6 \text{ m}$$

$$f = tg \varphi, \text{ para } z \geq 6 \text{ m}$$

Φ = ângulo de atrito

$$13. f_0^* = 1,2 + \log_{10} Cu$$

z = profundidade

c. Força limite de tração, resistida na seção plena da armadura (Tr1):

$$14. Tr1 = \frac{1}{Y_r} * Tr * \frac{e_c}{e_n} \geq T_{m\acute{a}x}$$

d. Força limite de tração, resistida na seção do furo onde a fita será parafusada na escama de concreto (Tr2):

$$15. Tr2 = \frac{1}{Y_r} * Tr * \frac{b'}{b} * \frac{e_c}{e_n} \geq \alpha * T_{m\acute{a}x}$$

Y_r = coeficiente de segurança ($Y_r = 1,5$)

Tr = carga de escoamento da armadura ($Tr = f_y \times e_0 \times b$)

e_c = espessura de cálculo

e_n = espessura nominal

b = largura nominal da armadura

b' = largura reduzida pelo furo

α = 0,85 (para paramento em escamas típicas de concreto)

e. Força limite de tração na zona de aderência, que confere resistência ao arrancamento da fita (Tf):

$$16. Tf = \frac{2 \times b \times f^*}{Y_f} \times \sigma_v(z) \times La(z) \geq T_{m\acute{a}x}$$

$Y_f = 1,5$ (coeficiente de segurança)

f^* = coeficiente de atrito aparente de cálculo

$\sigma_v(z)$ = tensão vertical à profundidade z

$La(z)$ = comprimento de aderência a profundidade z

b = largura nominal da armadura

No final deve-se identificar qual o fator que governa o dimensionamento, ou seja, onde se encontra a maior fragilidade da estrutura. Pode ser na seção de tração máxima da armadura, na seção do furo para encaixe do parafuso ou mesmo na zona de aderência que confere a resistência ao arrancamento.

5.1.3.3 Solo reforçado com geossintético

Essa técnica segue o mesmo princípio da terra armada. A diferença está nos materiais utilizados e nos métodos de dimensionamento. Para o solo reforçado com geossintético, pode-se utilizar materiais como geotêxtil tecido, geotêxtil não tecido, geogrelhas, entre outros. “De modo geral, as geogrelhas são mais favoráveis para muros com altura superior a 4m, enquanto os geotêxteis costumam apresentar vantagens econômicas para muros menores.” (Ehrlich e Azambuja, 2003, apud Ehrlich e Becker, 2009).

Para o faceamento também existe algumas técnicas disponíveis, como o autoenvelopamento e a utilização de blocos pré-moldados intertravados. Segundo Ehrlich e Becker (2009), muros envelopados geralmente são executados com geotêxteis, mas geogrelhas também podem ser utilizadas, desde de que se providencie um sistema que impeça a fuga de solo através do faceamento. O faceamento em blocos pré-moldados apresenta tolerância razoável a recalques e permite um controle dimensional fácil, razão pela qual são mais indicados para construtores sem experiência prévia em obras de solo reforçado.

Visando a escolha de um reforço que fosse economicamente eficiente para alturas de até 10m e um faceamento que possibilitasse uma execução mais simples, baseado nas características explicitadas acima, foram adotadas geogrelhas de poliéster e blocos pré-moldados para todos os projetos.

O método de dimensionamento utilizado foi estabelecido por Ehrlich e Mitchell (1994). Trata-se de uma metodologia que considera fatores como o equipamento de compactação, superfície de ruptura, fatores de segurança para danos de instalação (F_d), degradação do meio (F_a), fluência (F_f), coeficiente de

aderência (F_a) e fator de escala (α).

Para a análise da estabilidade interna os reforços devem ser definidos de forma a evitar a ruptura por tração ou arrancamento da zona resistente. No caso em questão foi definido que a compactação das duas camadas mais altas de cada muro será executada manualmente, pois o uso de um equipamento de compactação iria implicar num aumento exagerado no comprimento das geogrelhas nessas camadas para que pudessem resistir aos esforços de arrancamento. Apresentam-se, a seguir, os passos tomados para o dimensionamento das estruturas em solo reforçado com geogrelha.

a. Determinar a tensão vertical induzida pela compactação ($\sigma'_{zc, i}$):

$$17. \sigma'_{zc, i} = (1 - v_o)x (1 + ka)x \sqrt{\frac{Y'x Q x Ny}{2 x L}}$$

$$18. v_o = \frac{K_o}{1+K_o}$$

$$19. K_o = 1 - \text{sen}\Phi$$

$$20. Ny = tf \left(45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right) x \left[\text{tg}^4 \left(45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right) - 1 \right]$$

$$21. Ka = \text{tg}^2 - \frac{\Phi}{2}$$

b. Determinar a tensão vertical geostática no nível do reforço (σ'_{z}):

$$22. \sigma'_{z} = \frac{Y' * z}{1 - \left(\frac{Ka}{3} \right) * \left(\frac{z}{Lr} \right)^2}$$

c. Determinar β :

$$23. \beta = \frac{\left(\frac{\sigma'_{zc}}{Pa} \right)^n}{Si}$$

$$24. Si = \frac{Jr}{k * Pa * Sv}$$

Pa = pressão atmosférica (101,3);

n = módulo expoente (tab 2.1 – Ehrlich Becker);

k = módulo tangente inicial;

Sv = espaçamento vertical entre reforços;

σ'_{zc} = maior valor entre σ'_{z} e $\sigma'_{zc, i}$;

Jr = módulo de rigidez

d. Determinar o Tmáx:

A força de tração máxima (Tmáx) é determinada para cada nível de reforço, considerando os valores de β , $\sigma'z$ e $\sigma'zc$, a partir dos ábacos das figuras A5, A6 e A7 do anexo (Dantas; Ehrlich,1999). O processo é iterativo, pois Tmáx também é função de Jr (módulo de rigidez), que por sua vez depende do reforço que será adotado.

e. Resistência de cálculo do reforço (Td):

$$25. Td = \frac{Tmáx/Ff}{Fd \times Fa} \geq FS \times Tmáx$$

Tmáx = resistência nominal

Ff= fator de fluência

Fd = danos de instalação

Fa= degradação ambiental

FS \geq 1,5

f. Estabilidade ao arrancamento.

(f.1) Comprimento de embutimento (Le):

$$26. Le = Lr - (H - z)x \left[tg \left(45^\circ - \frac{\Phi}{2} \right) - \frac{1}{tg\omega} \right]$$

Lr = comprimento do reforço

H = altura do muro

Z = profundidade do reforço

Φ = ângulo de atrito

ω = inclinação da face do muro

(f.2) Resistência ao arrancamento (Pr):

$$27. Pr = 2 \times F^* \times \alpha \times \sigma'v \times Le \geq Fs \times Tmáx$$

$$28. F^* = fa \times tg\Phi$$

α = fator de escala

f_a = coeficiente de aderência

σ'_{ν} = tensão geostática vertical

L_e = comprimento de embutimento

$FS \geq 1,5$

Como especificado no passo a passo anterior, o dimensionamento do muro em solo reforçado com geossintético sofre influência de muitas variáveis admitidas na fase de projeto. Apresenta-se a seguir algumas dessas considerações.

- Espaçamento vertical entre reforços (S_v) = 0,40m;
- Compactador: Rolo Dynapac CA250PD;
- Inclinação da face de 90°;
- Compactação manual nas duas últimas camadas;
- Fatores de segurança:
 - Danos de instalação (F_d) = 1,1;
 - Degradação do meio (F_a) = 1,5;
 - Fator de fluência (F_f) = 2,0;
 - Coeficiente de aderência (F_a) = 0,8;
 - Fator de escala (α) = 0,6;

5.2 CUSTOS CONSIDERADOS NA CONSTRUÇÃO DOS MUROS

A estimativa dos custos de execução dos muros projetados em diferentes alturas foi feita por GASPAR(2016), com base nas composições de custos extraídas do Sistema de Custos Rodoviários (Sicro 2), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e da Tabela de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO). Os preços dos insumos foram também pesquisados no mercado local.

Para os serviços de terraplenagem não foram considerados os custos de um possível empréstimo ou bota-fora de solo, tendo em vista que adotou-se uma situação em que seria aproveitado o solo local, situação mais provável mediante o tipo de solo predominante na cidade de Natal/RN.

Aspectos considerados na composição dos custos do muro de gravidade:

- Fôrma de chapa compensada para estruturas em geral, resinada, com espessura de 12 mm, sem reutilização;
- Concreto estrutural fck 20 Mpa e pedra de mão para execução do muro;
- Escavação, reaterro e compactação;
- Mão de obra.

Aspectos considerados na composição dos custos do muro em terra armada:

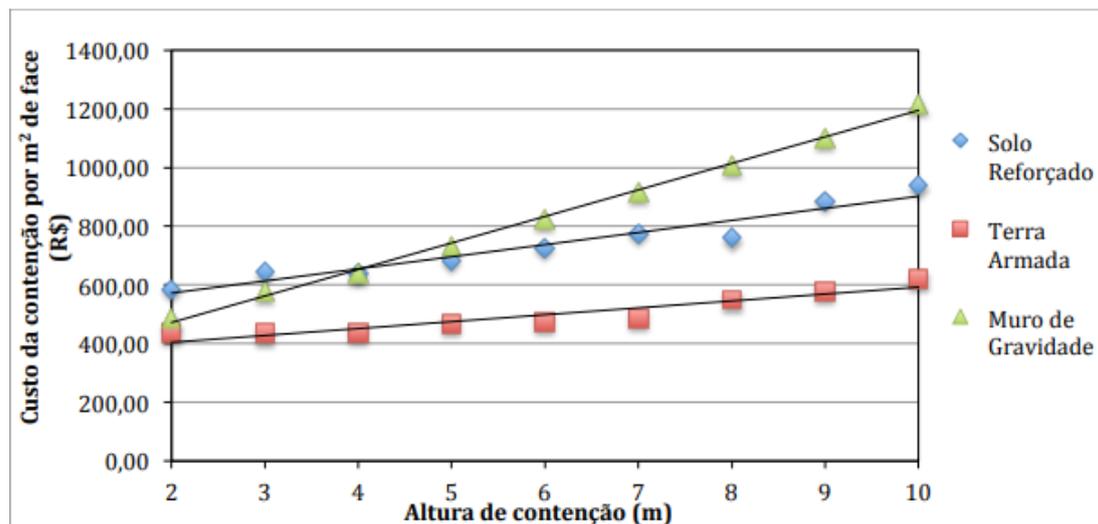
- Execução da face do muro com escamas de concreto pré-moldado com dimensões de 1,50 x 1,50 m;
- EPDM espuma de poliuretano e geotêxtil para as juntas do paramento;
- Inclusão de fitas metálicas e parafusos;
- Concreto estrutural fck 15 Mpa para execução da soleira e arremates;
- Escavação, reaterro e compactação;
- Montagem do maciço (mão de obra e equipamentos).

Aspectos considerados na composição dos custos do muro de solo reforçado com geogrelha:

- Inclusões de geogrelha;
- Execução da face de blocos;
- Escavação, reaterro e compactação;
- Mão de obra.

Ressalta-se que na elaboração dos custos não foi contemplado o serviço de acompanhamento topográfico por se tratar de um serviço de igual valor para os três tipos de estruturas de contenção avaliadas e pela dificuldade em se estimar o custo deste serviço por metro quadrado de face executada.

Figura 21 - Gráfico comparativo de custos entre técnicas de contenção avaliadas



Fonte: Gaspar (2016).

Mostra-se, claramente, que a solução em terra armada apresentou o menor custo para todas as alturas consideradas, contrariando em parte Avesani Neto, Hayashida e Pereira (2013) que afirmam ser a técnica em solo reforçado com geossintético, mais barata. Os mesmos autores esclarecem também que, “a face em blocos é a que se mostra mais onerosa em relação as outras soluções de faceamento, para o solo reforçado com geossintético”. Isso pode justificar o fato de que a técnica em solo reforçado se mostrou economicamente menos competitiva no presente trabalho. Além desse aspecto, destaca-se que a solução em terra armada possui uma vantagem econômica os outros dois tipos contenções levando o fator custo da contenção por m² de face (R\$), altura de contenção (m) e solo Reforçado Terra Armada Muro de Gravidade restrição bastante específica para o solo a ser utilizado na obra. O solo considerado neste estudo atende a essa especificação. Porém, estruturas construídas em locais onde o solo não atenda a esses critérios irão exigir operações de empréstimo e bota-fora, encarecendo o custo total da solução com terra armada. Esse aspecto possui menor impacto na solução com geossintéticos uma vez que solos diferentes podem ser empregados.

A solução em solo reforçado com geogrelha, apesar de não ser a mais barata, se mostrou vantajosa em relação à estrutura tradicional do muro de gravidade, para alturas acima de 4m. Em terceiro lugar na classificação de

custos, a técnica mais onerosa foi o muro de gravidade, apresentando certa competitividade apenas para as alturas abaixo de 4 m.

As diferenças percentuais de custo verificados para as técnicas de contenção estudada em função da elevação dos desníveis contidos estão representados na figura 22. Os valores representados correspondem aos aumentos ou diminuições nos custos construtivos por metro quadrado de face, para cada uma das técnicas, em função das variações de altura.

Figura 22 - Aumento percentual dos custos com o aumento dos desníveis de contenção

Variação de altura (m)	Muro de gravidade	Terra armada	Solo reforçado
2->3	18,57%	-0,53%	10,17%
3->4	10,69%	1,01%	-0,69%
4->5	14,40%	6,66%	6,84%
5->6	12,93%	1,09%	6,39%
6->7	11,15%	2,88%	6,73%
7->8	10,03%	12,91%	-2,10%
8->9	9,11%	5,46%	16,51%
9->10	10,56%	7,08%	6,13%
Média	12,18%	4,57%	6,25%

Fonte: Gaspar (2016).

A figura 22, mostra também que as soluções em solo reforçado (terra armada e solo reforçado com geossintético) apresentaram um menor aumento nos custos com o aumento das alturas, se comparada à solução em muro de gravidade.

De forma geral, pode-se afirmar que, o custo do muro de gravidade em concreto ciclópico se torna maior em comparação com as técnicas de solo reforçado, quanto maior for à altura contida. Tendo em vista que para maiores alturas a estrutura do muro precisa ser muito robusta e conseqüentemente, onerosa.

Após apresentar um comparativo de custos construtivos para a execução de três tipos de estruturas de contenção (muro de gravidade, terra armada e solo reforçado com geossintéticos) para uma obra fictícia no município de Natal/RN, levando em conta o que foi exposto nos itens anteriores, as conclusões a seguir foram estabelecidas por GASPAR(2016):

- Para as condições de solo consideradas, os desníveis testados, os materiais e métodos de dimensionamento utilizados, a solução em terra

armada apresentou o menor custo perante as outras soluções;

- A solução em solo reforçado com geogrelha, apesar não ser a mais econômica, se mostrou bastante competitiva em relação ao muro de gravidade, principalmente para alturas maiores do que 4m;
- A tendência de crescimento dos gráficos sugere que as estruturas de solo reforçado (terra armada e solo reforçado com geossintéticos) são economicamente mais competitivas à medida que se aumenta os desníveis de contenção;
- Os custos envolvidos na construção de muros de gravidade aumentam de maneira mais expressiva com a elevação dos desníveis de contenção.

6 ESTUDO DE CASO

Esse trabalho de conclusão de curso terá como o foco estudo de caso da estrutura contenções da rodovia localizada na BR-101/RN próxima a Avenida Maria Lacerda Montenegro como a figura 23 abaixo representa.

Utilizou-se a contenção por estacas escavadas devido o costume de sempre trabalhar com o sistema tendo contatos com a empresa que trabalha com esse estilo de técnica de contenção, não havendo portanto nenhuma análise técnica construtiva, estrutural e financeira para a sua escolha.

Esse tipo de contenção é um método executivo que tem o objetivo de colocar um conjunto de estacas no terreno natural, para que forme uma cortina que vai manter o terreno natural, aonde essa cortina vai dar estabilidade ao solo.

A composição de preço da estaca escavada para saber o preço do custo da contenção por metro quadrado de face, ela dado pela próxima tabela. Onde com o auxílio dela poderemos obter o preço dela para diversas profundidade e compararmos aos outros tipo de contenção.

Insumo	Un	Descrição	Requ	Preço unitário	Preço Insumo
mt07aco020m	Un	Separador certificado para estacas.	3,000	0,21	0,63
mt07aco070f	kg	Aço em barras nervuradas, CA-50, de vários diâmetros, segundo ABNT NBR 7480.	4,725	3,84	18,14
mt08var050	kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	0,032	2,49	0,08
mt10haf080iec	m ³	Concreto C25 classe de agressividade ambiental II e tipo de ambiente urbano, brita 1, consistência S100, dosado em central, segundo ABNT NBR 8953.	0,054	316,68	17,10
mqq03pii109a	m	Perfuração e colocação de materiais, com equipamento e maquinaria, para estaca escavada com trado mecânico, de 25 cm de diâmetro.	1,000	14,46	14,46
mo043	h	Armador.	0,033	23,88	0,79
mo090	h	Ajudante de armador.	0,047	18,30	0,86
mo045	h	Oficial de trabalhos de concretagem.	0,312	23,88	7,45
mo092	h	Ajudante de trabalhos concretagem.	0,312	18,30	5,71
	%	Custos diretos complementares	2,000	65,22	1,30
Custo de manutenção decenal: R\$ 1,33 nos primeiros 10 anos.				Total:	66,52

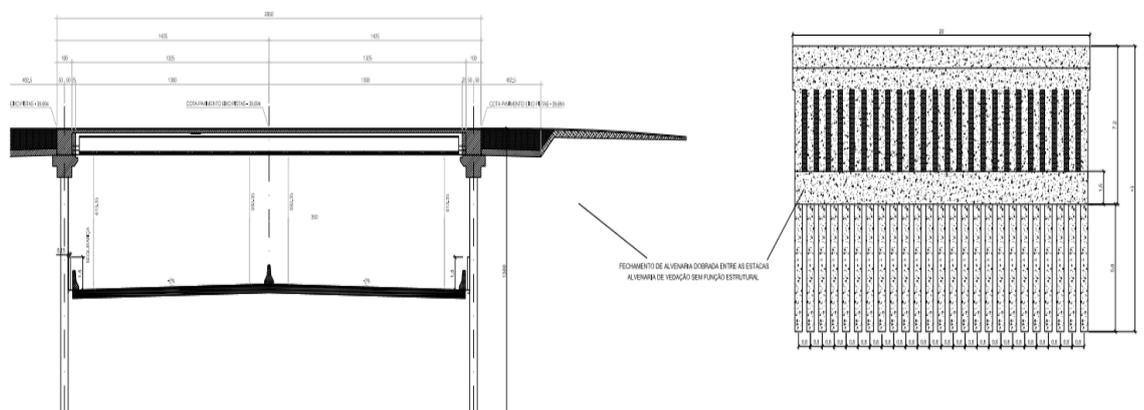
Figura 23 – Passagem inferior Avenida Maria Lacerda Montenegro



Fonte: AUTOR (2020).

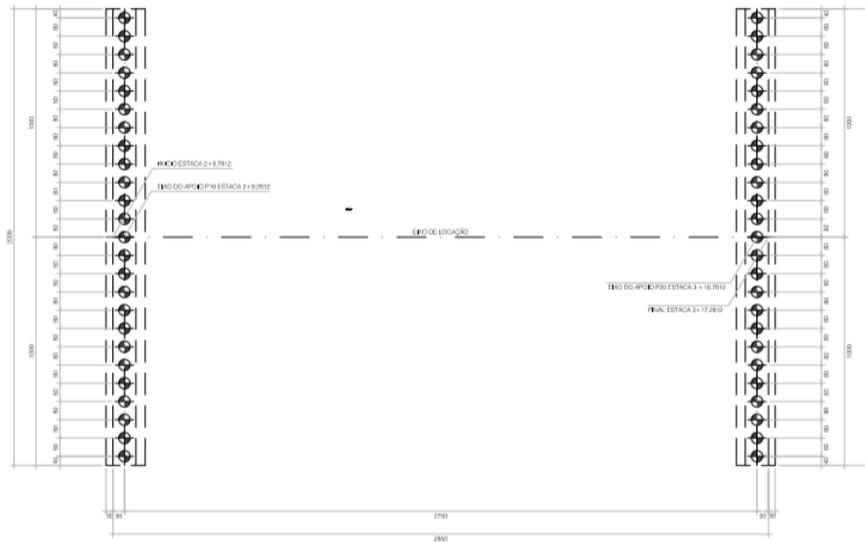
6.1 PROJETO DE EXECUÇÃO DAS FUNDAÇÕES DA RODOVIA

Figura 24 - Corte 1



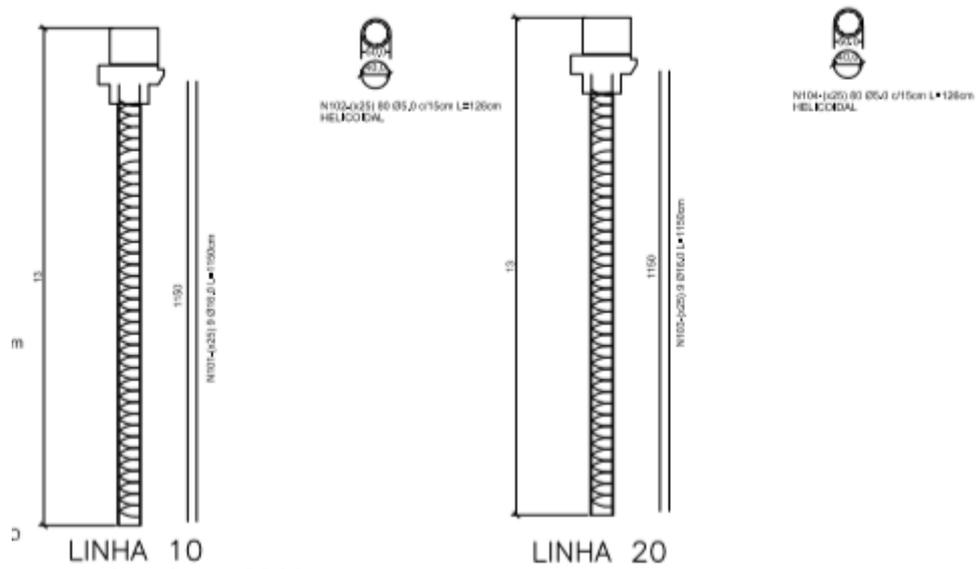
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 25 - Locação das estacas



Fonte: DETRAN (2018).

Figura 26 - Detalhe da armadura

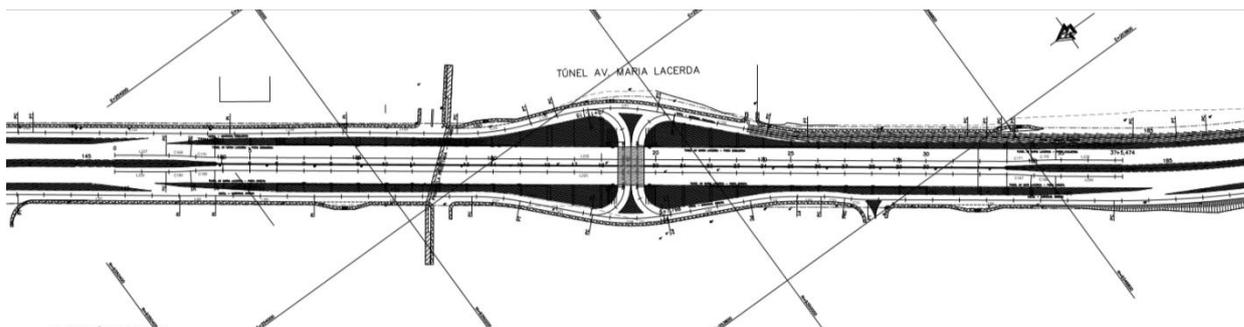


Fonte: DETRAN (2018).

6.2 PROJETO DE EXECUÇÃO DAS CONTENÇÕES DA RODOVIA

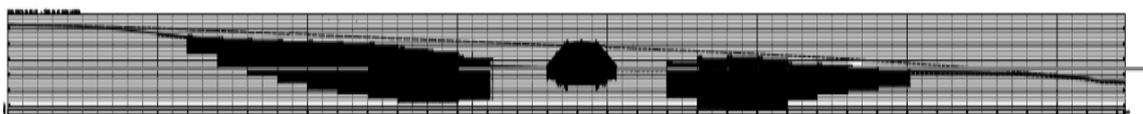
Como já foi dito foi utilizada na rodovia BR101/RN próxima a Avenida Maria Lacerda Montenegro uma contenção de estacas escavadas como pode ver as figuras abaixo o projeto de execução.

Figura 27 - Implantação das vigas



Fonte: DETRAN (2018).

Figura 28 - Elevação lateral direita



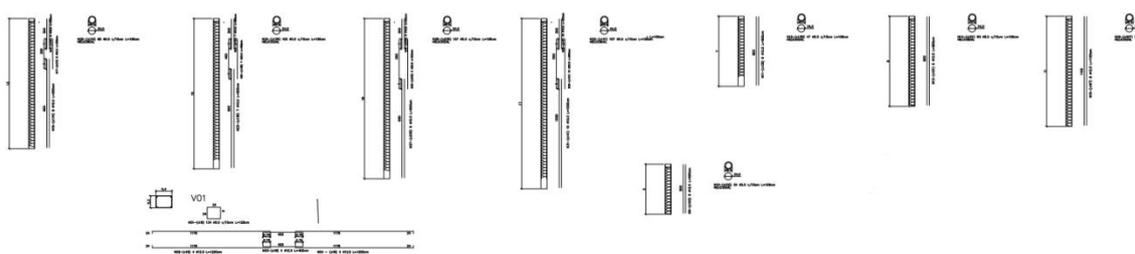
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 29 - Elevação lateral esquerda



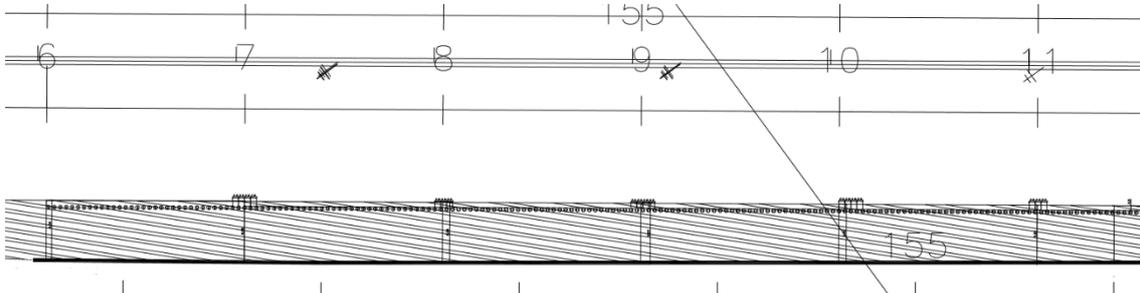
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 30 - Armaduras



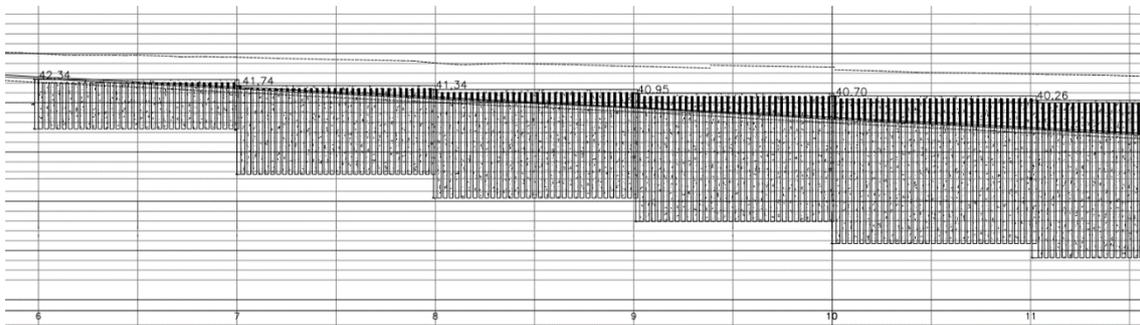
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 31 - Locação das estacas



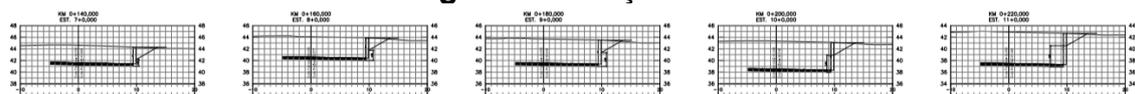
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 32 - Seção longitudinal



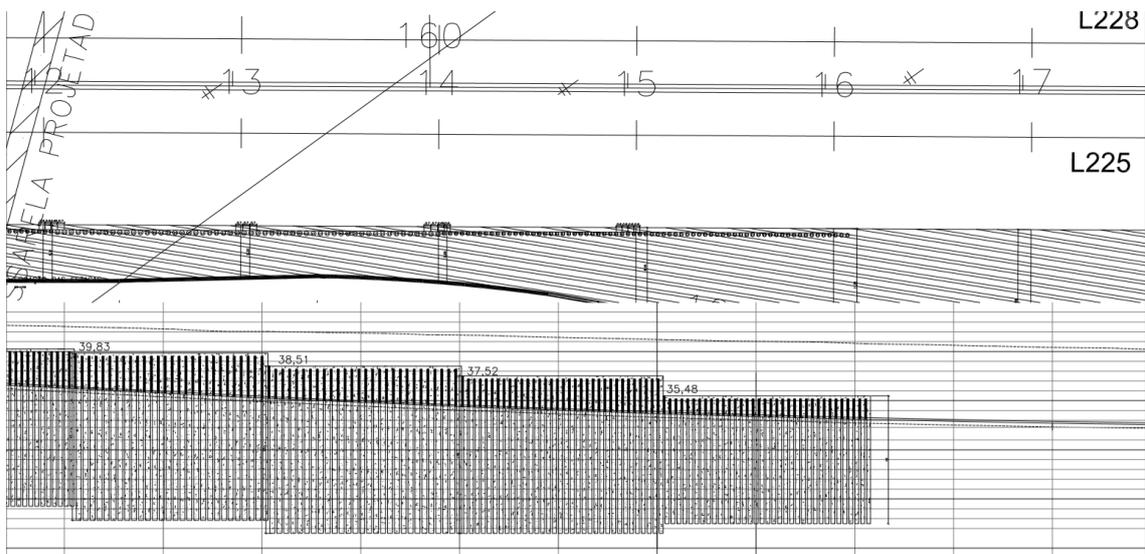
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 33 - Seção transversal



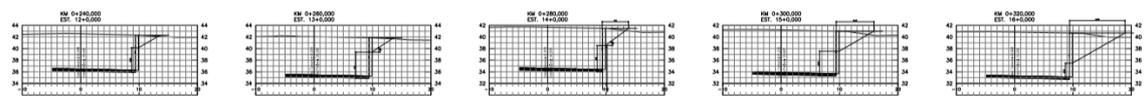
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 34 - Seção longitudinal



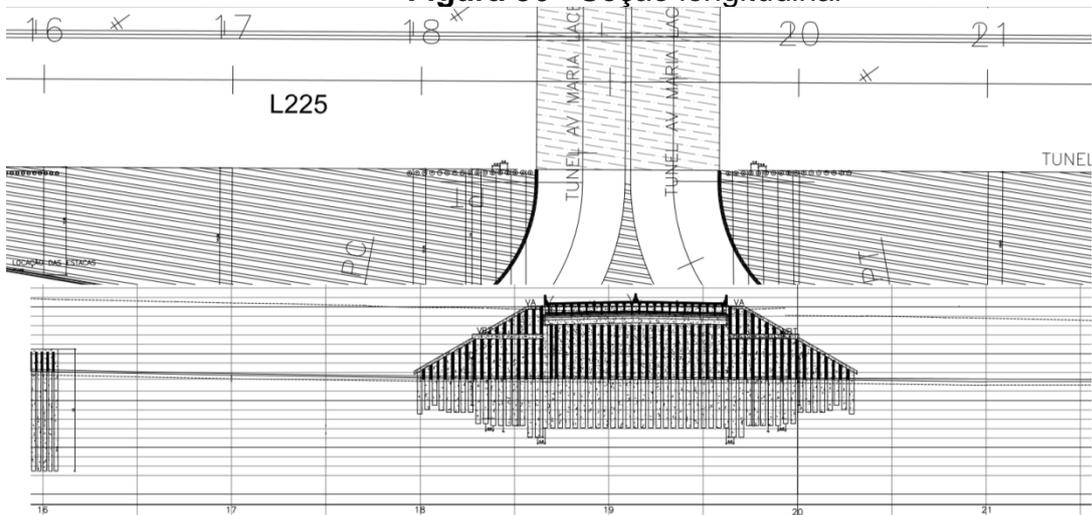
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 35 - Seção transversal



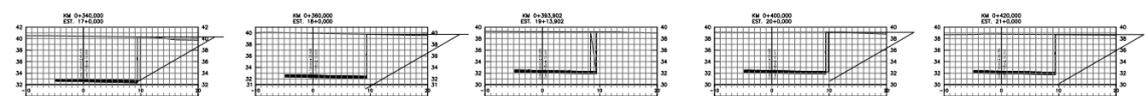
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 36 - Seção longitudinal



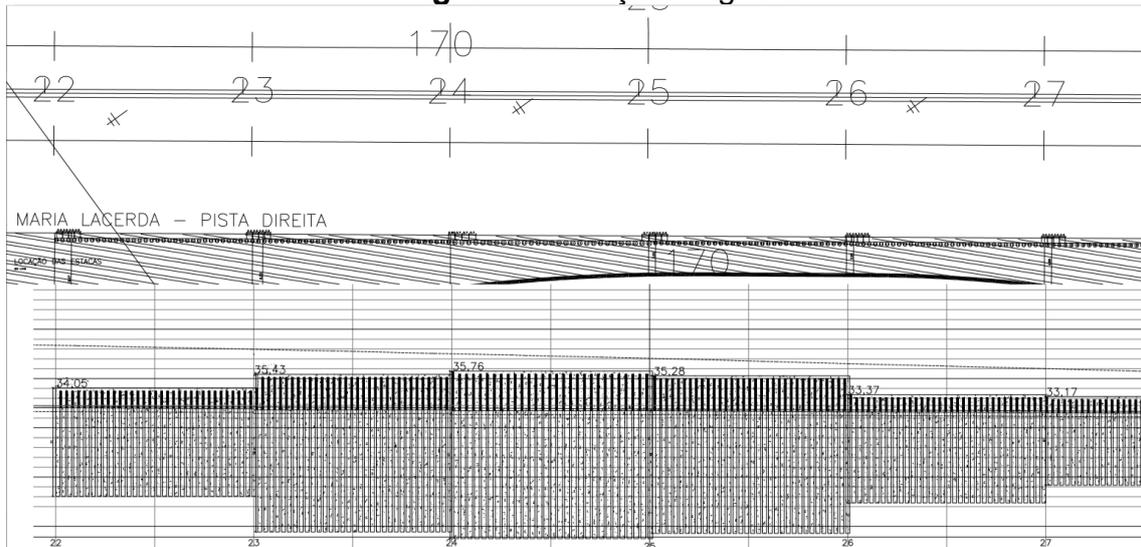
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 37 - Seção transversal



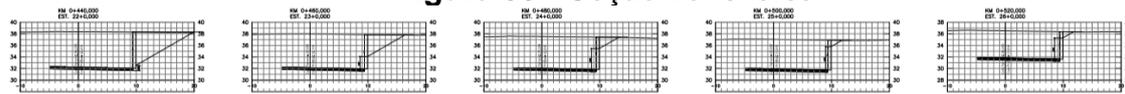
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 38 - Seção longitudinal



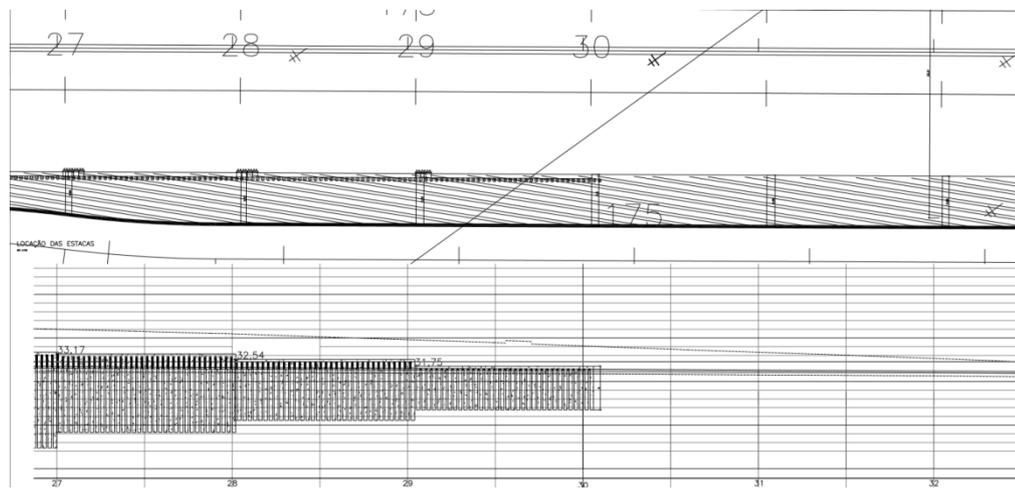
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 39 - Seção transversal



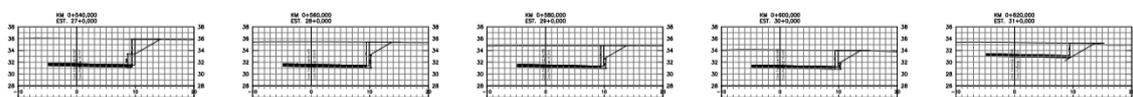
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 40 - Seção longitudinal



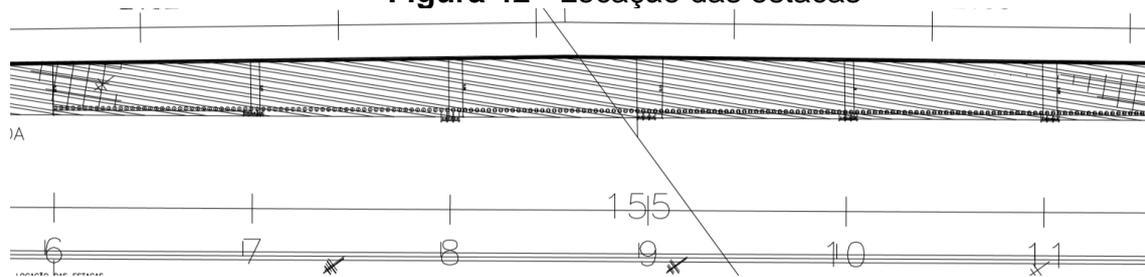
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 41 - Seção transversal



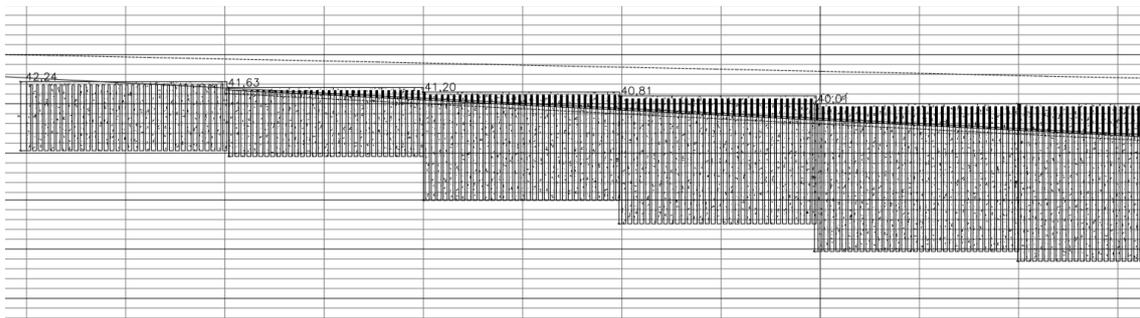
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 42 - Locação das estacas



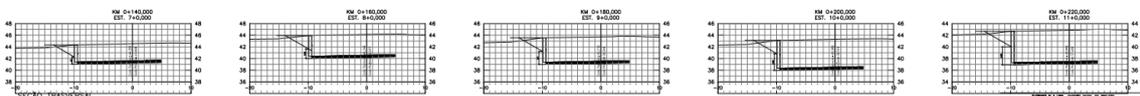
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 43 - Seção longitudinal



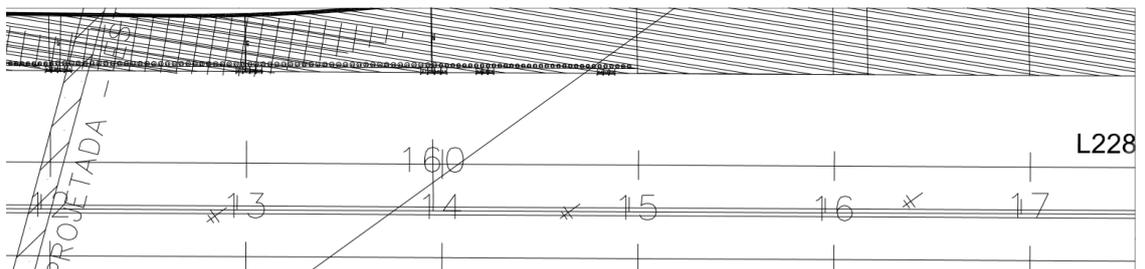
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 44 - Seção transversal



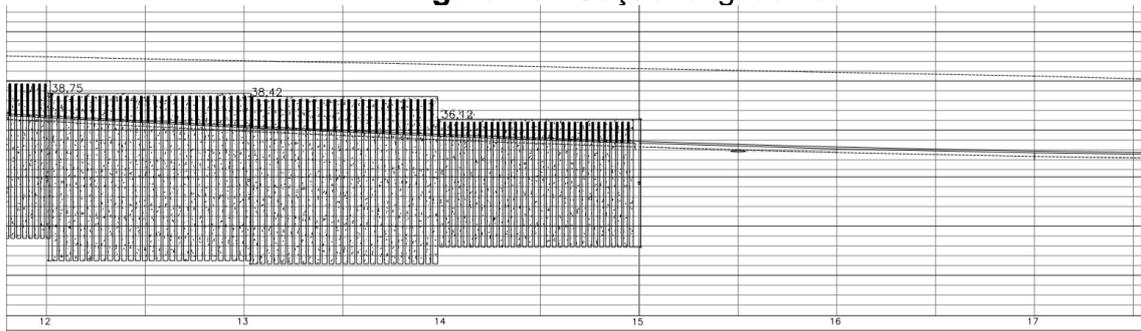
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 45 - Locação das estacas



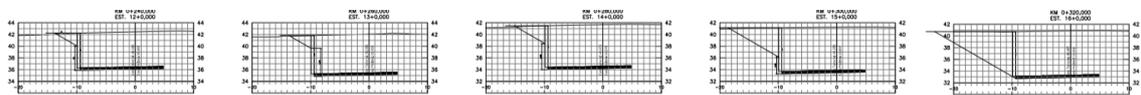
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 46 - Seção longitudinal



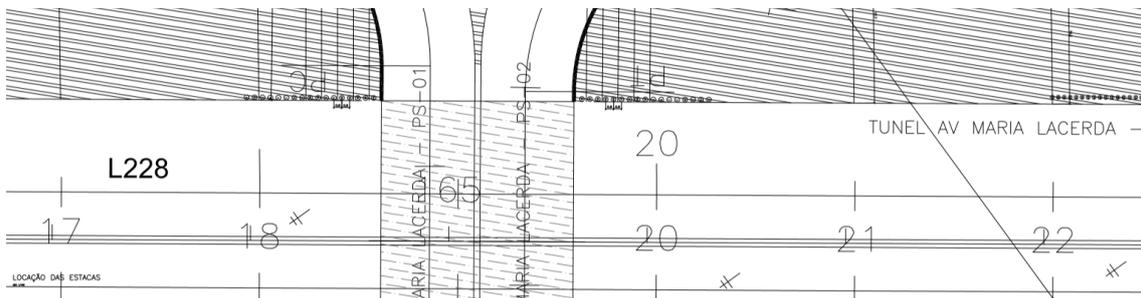
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 47 - Seção transversal



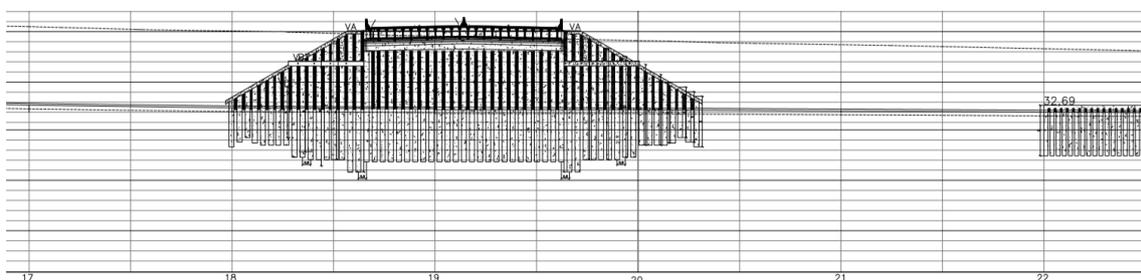
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 48 – Locação das estacas



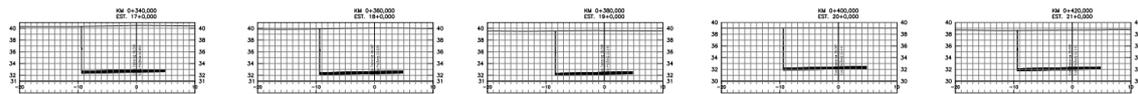
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 49 - Seção longitudinal



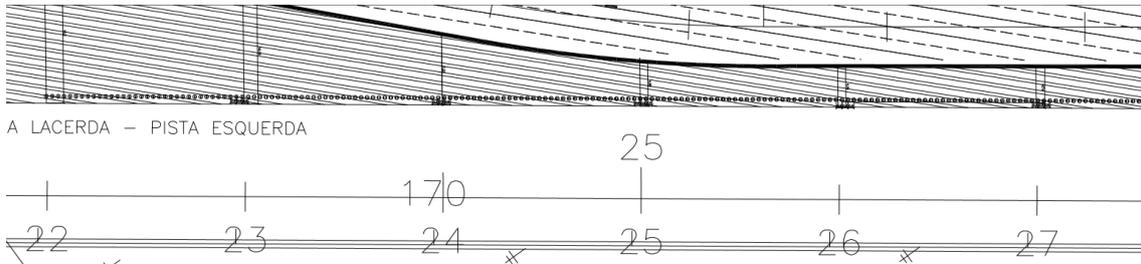
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 50 - Seção transversal



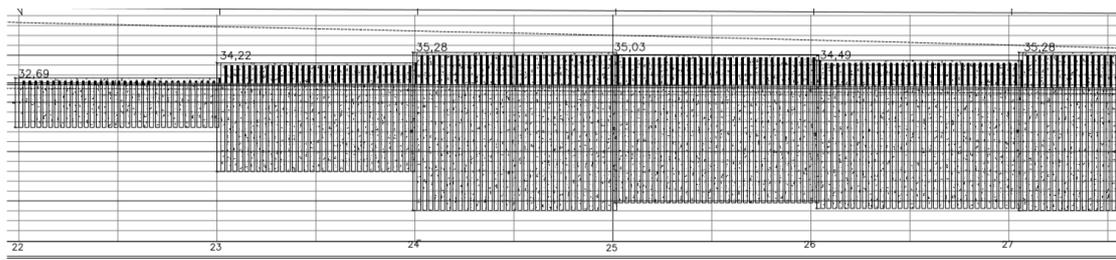
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 51 - Locação das estacas



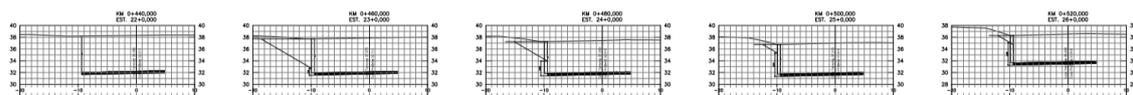
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 52 - Seção longitudinal



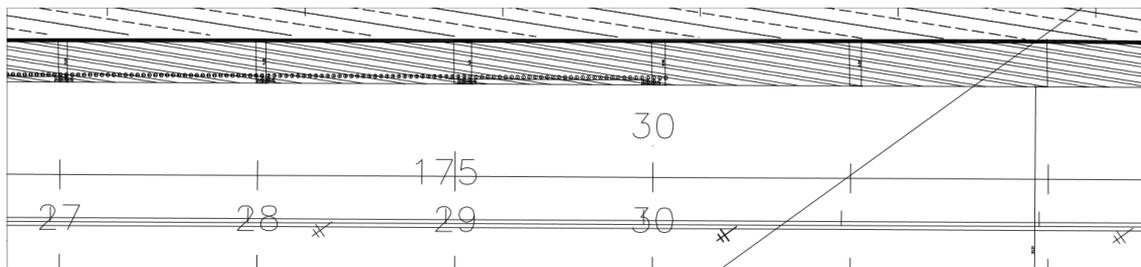
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 53 - Seção transversal



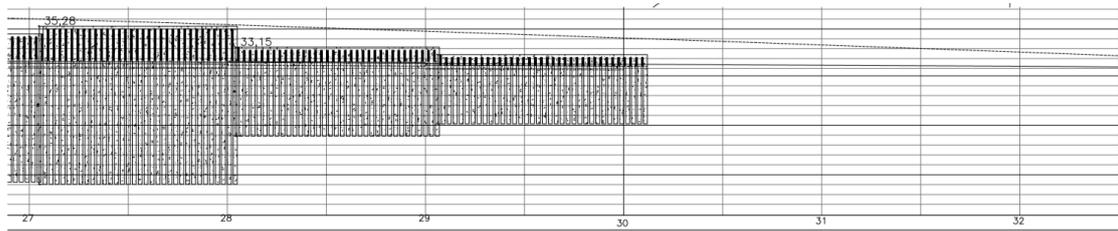
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 54 - Locação das estacas



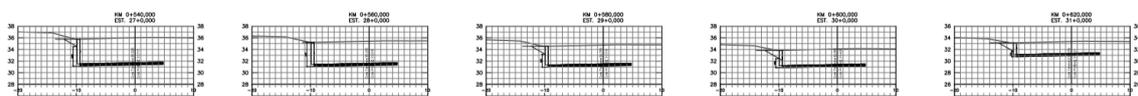
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 55 - Seção longitudinal



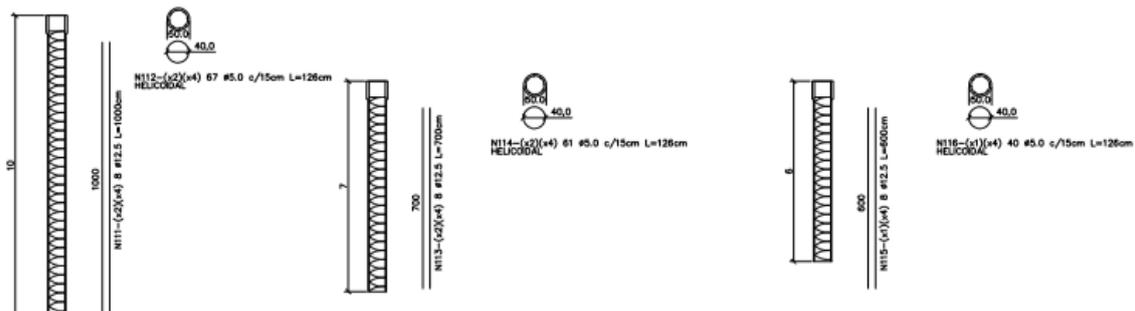
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 56 - Seção transversal



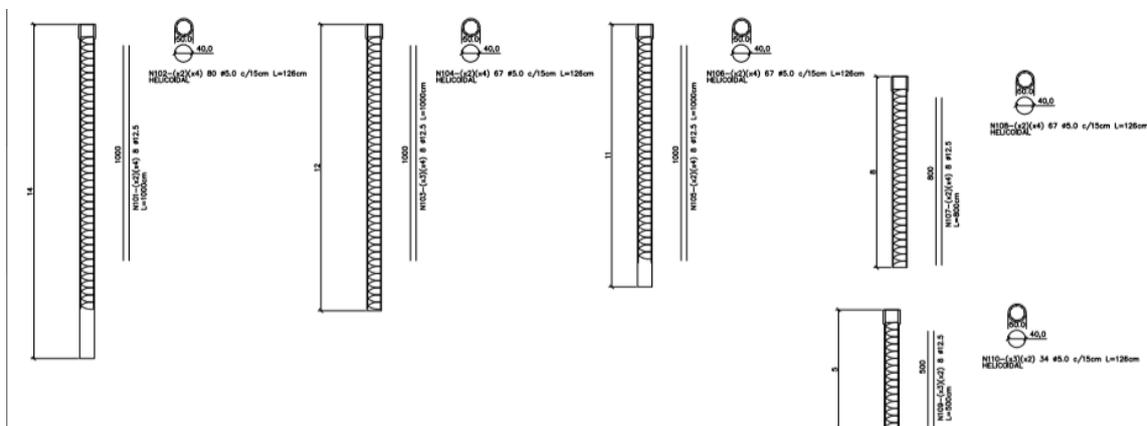
Fonte: DETRAN (2018).

Figura 57 - Detalhamento da armadura

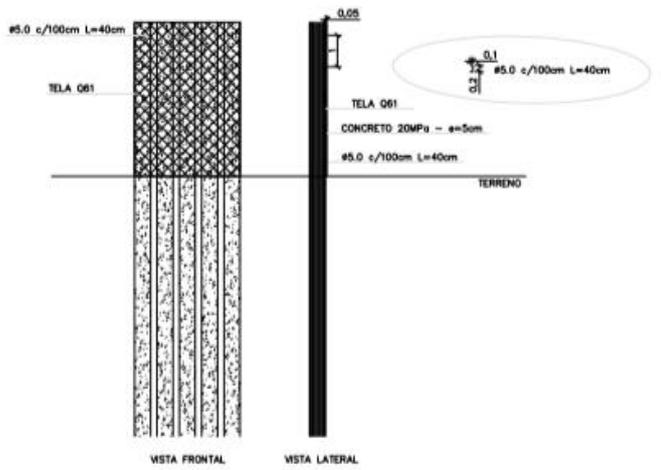


Fonte: DETRAN (2018).

Figura 58 - Detalhamento da armadura



Fonte: DETRAN (2018).

Figura 59 - Detalhamento revestimento das estacas

Fonte: DETRAN (2018).

7 RESULTADOS OBTIDOS

7.1 SISTEMA DE CONTENÇÃO UTILIZADA

Como visto anteriormente no estudo de caso, o resultado obtido para a utilização da contenção de estaca escavada foi mais influenciado pela praticidade e conforto da empresa. Tendo em vista que existem outros tipos de contenções que seriam mais adequadas financeiramente e mais indicadas para rodovia BR-101/RN.

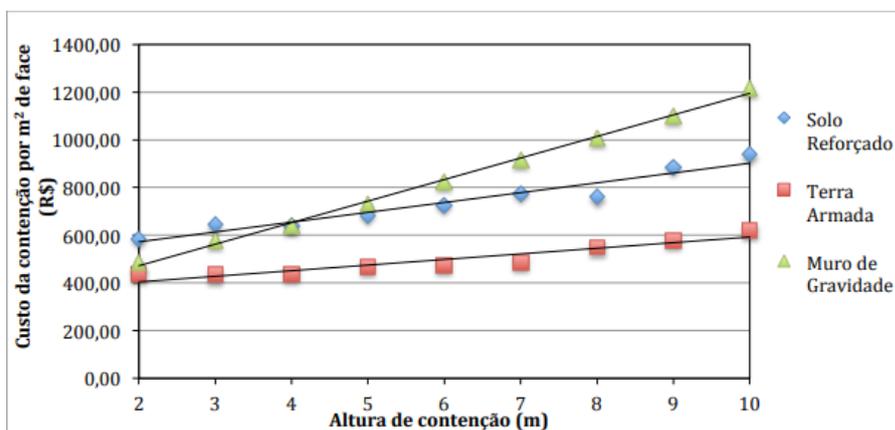
Com o auxílio da tabela 1, conseguimos achar seu preço para cada metro quadrado de face.

7.2 COMPARAÇÃO COM OUTROS TIPOS DE CONTENÇÃO

Quando levamos para uma comparação com os demais tipos de contenções presente no mercado, podemos ter a convicção que a implantação da contenção de estacas escavadas não possui uma qualidade com durabilidade que coloca ela acima das demais para a implantação dela na rodovia.

Uma contenção que seria muito mais viável para utilizarmos na BR-101/RN seria a contenção de terra armada, que apresenta mais vantagens econômicas ao comparar com a estrutura de contenção utilizada além de suprir todas as especificações da rodovia para sua utilização. Podemos ver melhor a vantagem econômica com a figura abaixo.

Figura 60 - Gráfico comparativo de custos entre técnicas de contenção avaliadas



Fonte: Gaspar (2016).

Como podemos ver na figura acima as vantagens econômicas de uma contenção de terra armada para uma de solo reforçado e de muro de gravidade apresenta uma vantagem significativa superior por metro quadrado (m²).

Agora ao adicionarmos os preços da estaca escavada para mesmas profundidades comparada a terra armada achou o seguinte gráfico.

Profundidade	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m
Terra armada (Reais)	400,00	410,00	420,00	450,00	500,00	520,00	580,00	590,00	600,00
Estaca escavada (Reais)	663,00	979,00	1296,00	1613,00	1929,00	2246,00	2563,00	2880,00	3196,00
Percentual de diferença(%)	39,67%	58,12%	67,69%	72,10%	74,08%	76,85%	77,37%	79,51%	81,23%

Fonte: Autor (2020).

Importante levar em consideração que os preços utilizados de terra armada foram preços aproximado pela consulta do gráfico feito por Gaspar(2016).

8 CONCLUSÕES

Pode-se afirmar que existe uma diferença econômica entre as contenções citadas no decorrer de trabalho de conclusão do curso, sendo elas a contenções de solo reforçado onde se apresentou a ter maior custo das citadas. A contenção através de muro de gravidade apresentou ter um custo baixo, porém quanto maior for altura da contenção seu preço aumenta significativamente apresentando um maior custo que a própria contenção de solo reforçado quando ultrapassar 4 metros de altura. A ultima contenção comentada é a contenção de terra armada que apresentou melhor custo benefícios às demais contenção não tendo uma variação de preço significativa com o aumento de sua altura, além de apresentar o melhor tempo de execução e apresentar uma praticidade maior.

Portanto a contenção utilizada na BR-101/RN poderia ser substituída por uma contenção de terra armada que apresenta um menor custo, menor tempo de execução e maior durabilidade, sendo a contenção em estaca escavada mais tradicional apresentando um maior custo chegando apresentar uma diferença de preço percentual de 81,23% se compararmos a contenção de terra armada, maior tempo de execução e uma menor durabilidade em virtude da maior possibilidade de ocorrências de manifestações patológicas ao longo do tempo (como a corrosão da armadura das estacas), além de apresentar dificuldades de manutenções futuras e além de poder sofrer com problemas de infiltração.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G.C. Drenagem rodoviária, 2007. 160 f. Notas de Aula.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9286**: TERRA ARMADA. São Paulo: Pini, 2004.

AZEVEDO, N.L. **Estudo comparativo de recuperação rodoviária por aplicação dos sistemas whitetopping e cbuq**. 2018. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil Pelo Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2018.

BARBOSA, D.J.C.; VITÓRIO, J.A.P. **Análise das Manifestações Patológicas em Contenções de Terra Armada de Viadutos da Região Metropolitana do Recife – PE**. Recife: Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, 2019.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. DNIT IPR/720: Manual de restauração de pavimentos asfálticos. Rio de Janeiro, 2006.

CINTRA, J.C.A.; AOKI, N.; ALBIERO, J.H. Tensão Admissível em Fundações Diretas. São Carlos: RiMa, 2003. 142 p.

CONTENÇÕES DE TALUDES. 2017. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

CORSINI, R. Taludes atirantados: parâmetro em concreto armado é uma das soluções para contenção de encostas e redução de riscos de deslizamento. Conheça as principais aplicações, o custo-benefício e os cuidados para a contratação. Infraestrutura urbana 2, n. 6, 2011.

DNIT – Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem, 3ª edição. Publicação IPR – 736 – Rio de Janeiro, 2010.

DOMINGUES, P. C. Indicações para projeto de muros de arrimo em concreto armado, dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, São Carlos – SP. 1997

DUTRA, V. A. S. Projeto de Estabilização de Taludes e Estruturas de Contenção englobando Dimensionamento Geotécnico e Estrutural. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

Estruturas de Contenção Muros de Arrimo. Rio de Janeiro: Uerj, 2015.

FONTANA, G.B.; SANTOS, A.A Análise de dimensionamento de solo reforçado tipo terra armada. Artigo para Trabalho de conclusão de Curso. Graduação de Engenharia Civil, Universidade do extremo sul catarinense. Criciúma: UNESC, 2011.

GERSCOVICH, D.; DANZIGER, B.R.; SARAMAGO R. Contenções, Teoria e Aplicação em Obras. Ed. Oficina de textos, 2016

GERSCOVICH, D.M. **Estruturas de Contenção Muros de Arrimo**. 2015. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Departamento de Estruturas e Fundações, Rio de Janeiro, 2015.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. O. Manual de deslizamento – um guia para a compreensão de deslizamentos. Virginia, USA: USGS. RESTON8. 2008.

JOPPERT JUNIOR, I. **Fundações e contenções em edifícios**. 2007. 60 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Mackenzie, São Paulo, 2007.

LEITE, G. U. Análise custo-benefício de obras de contenção. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil – Universidade Fernando Pessoa -

UFP. João Pessoa, 2011.

LUIZ, B.J. **Projeto geotécnico de uma estrutura de contenção em concreto**. 2014. 124 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MACHADO, L.M. **SOLO Arameado estabilização de talude no município de Niterói - RJ**. 2017. 113 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

MANUAL DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS – IPR 745/2011. Rio de Janeiro: DNIT, Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, 2011.

MARAPAGEM, A.S. **Avaliação da interação solo-fitas metálicas e poliméricas para solução em terra armada em solos não convencionais**. 2011. 163 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

MATTOS, K. C. A. **Processos de Instabilização em taludes rodoviários em solos residuais arenosos: Estudo na rodovia Castello Branco (SP 280), km 305 a 313**. Dissertação de mestrado– Universidade de São Paulo (Escola de Engenharia São Carlos), 2009. PINI. TCPO 2000: Tabela de Composições de Preços para Orçamento. 1. ed. São Paulo: PINI, 1999.

NORMA PRO 006/2003: **Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos**. Rio de Janeiro: DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2003b.

PEREIRA, A.C.A. **SISTEMAS DE DRENAGENS EM OBRAS DE CONTENÇÕES DE TALUDES**. 2017. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

PESSOA, Rafael Gaspar. **AVALIAÇÃO DOS CUSTOS CONSTRUTIVOS DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO NO MUNICÍPIO DE NATAL/RN**. 2016. 17 f.

TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, Natal, 2016.

PIAZZA, Bruna. **Projeto de estrutura de contenção e análise de custo para um talude de corte em uma rodovia.** 2018. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.

PLÁCIDO, R; KAMIJ, T. Geossintéticos para contenção A. p. 5, 2011.

ROCHA, D.D. **Avaliação do projeto de drenagem de transposição de talvegues da rodovia municipal que interliga a rodovia mg-457 ao município de Passa Vinte - MG.** 2013. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

ROCHA, E.A.S. **A importância do sistema de drenagem nas rodovias de Manaus - AM.** 2017. 18 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário do Norte, Manaus, 2017.

ROCHA, F.O. **Patologias em obras de pavimentação asfáltica.** 2018. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Anhanguera de Joinville, Joinville, 2018.

ROMAN, R. R. Método para construção de parede-diafragma: Clamshell e Hidrofresa. Pet. Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

SENA, L. **Estudo de caso sobre projeto de fundações por sapatas e por estacas.** 2016. 141 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina., Florianópolis, 2016.

SILVA, R. A. F. Aplicação da engenharia natural na estabilização de taludes. Dissertação de mestrado. Universidade da Madeira, Portugal. 2012.

SOUZA, A.G. **Cálculo e dimensionamento de estruturas de contenção do tipo muro de arrimo.** 2017. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

VIEIRA, S.A et al. Análise comparativa de metodologias de avaliação de pavimentos através do IGG e PCI. *Conexões-Ciência e Tecnologia*, v. 10, n. 3, p. 20-30, nov. 2016

Insumo	Un	Descrição	Re n d.	Preço unitário	Preço Insumo
mt07aco0 20m	U n	Separador certificado para estacas.	3,00 0	0,21	0,63
mt07aco0 70f	k g	Aço em barras nervuradas, CA-50, de vários diâmetros, segundo ABNT NBR 7480.	4,72 5	3,84	18,14
mt08var05 0	k g	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	0,03 2	2,49	0,08
mt10haf08 0iec	m 3	Concreto C25 classe de agressividade ambiental II e tipo de ambiente urbano, brita 1, consistência S100, dosado em central, segundo ABNT NBR 8953.	0,05 4	316,68	17,10
mq03pii10 9a	m	Perfuração e colocação de materiais, com equipamento e maquinaria, para estaca escavada com trado mecânico, de 25 cm de diâmetro.	1,00 0	14,46	14,46
mo043	h	Armador.	0,03 3	23,88	0,79
mo090	h	Ajudante de armador.	0,04 7	18,30	0,86
mo045	h	Oficial de trabalhos de concretagem.	0,31 2	23,88	7,45
mo092	h	Ajudante de trabalhos concretagem.	0,31 2	18,30	5,71

	%	Custos diretos complementares	2,00 0	65,22	1,30
Custo de manutenção decenal: R\$ 1,33 nos primeiros 10 anos.				Total:	66,52