

Execução de Obra: Construção de Muros Contentivos

Construction Execution: Construction of Container Walls

Ludimila Mallmann Schmalfluss¹

Bruno Gomes da Silva²

Resumo. Sabemos da importância dos Muros Contentivos para estradas, também como Elevados. Agora qual o melhor método mais eficaz e de melhor custo benefício para uma demasiada situação, disso não sabemos. O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo comparativo entre Muros Contentivos com a inclusão de Malhas de Aço, e Muros Contentivos com a inclusão de Geogrelhas, para descobrir qual o método de melhor custo benefício. A metodologia utilizada para este processo foi de natureza Qualitativa, e de caráter um estudo de caso, no qual foi realizado o estudo na BR 116. A partir do acompanhamento das obras de construção de dois elevados, um com a inclusão de Malhas de Aço, e outro com a inclusão de Geogrelhas, observamos que o Muro constituído de malhas metálicas apresenta vantagem referente à rapidez de execução, entretanto exigem maior número de maquinário para a execução. Já os dos blocos pré-moldados que são estruturas leves, porém requerem maior quantidade de servidores. Em relação aos elementos de reforço, as malhas metálicas são mais convenientes no sentido de melhor disposição, tendo em vista a maior rigidez e se comportarem melhor antes da compactação do aterro. Apesar disso, elas são mais vulneráveis a ação do tempo, diferentemente dos materiais poliméricos. Todavia estes possuem baixa densidade e pela carência de métodos de fixação apresentam dificuldade na colocação no maciço, podendo apresentar problemas de deslocamento e desprendimento dos blocos. Esses e outros resultados estão descritos com mais detalhes no presente trabalho.

Palavras Chaves: Execução de Obra, Muros Contentivos, Malhas de Aço e Geogrelhas.

Abstract. We know the importance of Contusive Walls for roads, as well as Elevated. Now, what is the best and most cost-effective method for a situation that we do not know. The objective of this work was to carry out a comparative study between Walls Contusive with the inclusion of Steel Meshes, and Walls Contusive with the inclusion of Geogrids, to find out which method of best cost benefit. The methodology used for this process was Qualitative in nature, and a case study was carried out, in which the study was carried out in BR 116. From the follow-up of the two high construction works, one with the inclusion of Steel Meshes, and another with the inclusion of Geogrids, we observed that the Wall made of metallic meshes presents advantage regarding the speed of execution, however they require more machinery for the execution. Those of pre-cast blocks that are lightweight structures, however, require more servers. With respect to the reinforcing elements, the metallic meshes are more convenient in the sense of better arrangement, in view of the greater rigidity and behave better before the compaction of the embankment. Despite this, they are more vulnerable to the action of time, unlike polymeric materials. However, these have low density and because of the lack of fixation methods, they present difficulties in the placement in the massif, and may present problems of displacement and detachment of the blocks. These and other results are described in more detail in the present work.

Keywords: Construction Execution, Containment Walls, Steel Meshes and Geogrids.

¹ Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Pelotas
Especialista em Infraestrutura de Transportes – Rodovias pela Universidade Cidade de São Paulo
E-mail: ludimila.engcivil@hotmail.com

² Licenciado em Física pelo IFSUL. Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Anhanguera - Uniderp
Especialista em Ciências e Tecnologias na Educação pelo IFSUL.
Mestre no Ensino das Ciências pelo Instituto Politécnico de Bragança (IPB-Portugal).
E-mail: brunoifsul@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Os muros de contenção devem impedir a ruptura do maciço de rocha ou solo, evitando os escorregamentos causados pelo seu peso próprio ou pelas forças externas. Medeiros (2005), as contenções são compreendidas pela introdução de uma estrutura ou de elementos estruturais compostos, que apresentam rigidez distinta daquela do terreno que conterà.

De acordo com Silva (2012), a existência dos muros de contenção é tão antiga como o das paredes, seus primeiros registros são da época da Mesopotâmia, construídos por sumerianos entre 3.200 e 2.800 a.C., onde os principais materiais utilizados eram somente argila e pedra. Entretanto, ao longo dos séculos seguintes, foram-se desenvolvendo e aperfeiçoando as técnicas construtivas, como resultados surgiram obras de grande importância histórica, entre elas a Muralha da China, construída entre 1368 a 1644. Porém somente no século XVIII, fruto de engenheiros franceses, essas estruturas sofreram significativas concepções de suas técnicas, levando-se assim a uma grande expansão dos projetos e execuções, fato motivado pela colonização europeia e também pelas construções das mais diversificadas estruturas de defesa e fortificação militares, nas mais variadas topografias e nos mais variados solos.

Loturco (2008), cita que no Brasil mesmo de forma pouco significativa, esse tipo de contenção foi introduzido no mesmo século com a construção de fortes costeiros, obras portuárias e urbanas. Contudo, já no século XIX ocorreu a difusão desse tipo de estrutura, com a expansão das obras ferroviárias.

O avanço tecnológico foi a partir da década de 60. Engenheiros Franceses começaram a executar muros de contenção com introdução de elementos mais resistentes no corpo do aterro que, uma vez solicitados, passam a trabalhar em conjunto com o solo compactado. Estes processos até hoje são muito utilizados, sendo os mais conhecidos os reforços por ancoragem, pelas fitas metálicas ou malhas de aço e pelos geossintéticos, de acordo com (FELIX, 1991; SILVA, 2012).

Loturco 2004, contenções para estabilização de taludes por ancoragem caracterizam-se por utilizarem estruturas protendidas (utilização de tirantes) ou não protendidas (uso de chumbadores) a fim de apresentarem configuração estável. Em geral são utilizadas em solos naturais onde ancoragens têm como objetivo reforçar o maciço, atravessando as zonas instáveis e fixando-se em zonas resistentes.

Silva (2012), diferentemente do processo de ancoragem, os processos com a utilização de estruturas de aço ou fitas metálicas têm como objetivo principal aumentar a resistência do solo posição confinado, além de proporcionar a sustentação dos elementos laterais (contentivos) que constituem a face do maciço. Essas faces, constituídas por uma superposição de painéis de

concreto armado, permitindo o movimento diferencial entre si e eliminando a concentração de tensões e conseqüentemente o aparecimento de trincas.

Ehrlich & Azambuja (2003), o sistema de contenção denominado “Muro Terrae”, que possui como principal característica a utilização de geogrelhas de alta rigidez, aumenta a estruturação do aterro, além de ajudar na sustentação do paramento frontal, formados por blocos segmentais pré-moldados de concreto. Estes dois últimos métodos citados, temas de estudos do presente trabalho, são constituídos por paramento (vertical ou quase vertical) apoiados em fundação (rasa ou profunda) e elementos de reforço do maciço.

2 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, De acordo com Castro (2018), uma pesquisa qualitativa tem por natureza qualificar o sujeito, seus sentimentos, opiniões, fenômenos isolados, particulares. Iremos realizar um estudo de caso, no qual foi composto o comparativo dos projetos e execuções, observando suas características, peculiaridades, suas facilidades e suas dificuldades de execução, como também suas vantagens e desvantagens.

Devido à duplicação da BR 116 na região sul do estado gaúcho, houve a necessidade da construção de obras de arte especiais, entre elas os viadutos, objetivando principalmente a fluidez do tráfego rodoviário, o acesso às localidades e a interferência no trânsito regional. Quando se trata de viadutos, logo se pensa no tipo de acesso a estes.

Os sistemas de contenção de aterros com muros de solos confinados e reforçados, esta prática esta sendo executada de duas formas, na rodovia já citada. O fato atípico para a região até então, na qual surgiu o interesse de estudar e avaliar as opções projetadas, considerando que ambos apresentam as mesmas finalidades, em distância razoavelmente próxima (aproximadamente 30 quilômetros), contudo projetados e sendo executados com características totalmente distintas.

Os objetivos do trabalho se fundamentam em estudar e apresentar os aspectos mais importantes de dois métodos de contenção de solos confinados, melhorando o conhecimento e a compreensão a respeito de projetos, execução e comportamento dos muros. O primeiro com inclusão de malhas de aço, e o segundo com inserção de geogrelha. no acesso ao viaduto da Avenida 25 de Julho, no município de Pelotas/RS. Ambos compõem as obras da duplicação da BR 116 na região sul do Estado do Rio Grande do Sul.

3 ESTUDO DE CASO: COMPARATIVO DE MUROS CONTENSIVOS

Este capítulo apresentará um estudo comparativo de projeto e execução de dois sistemas de contenção de muros de solos reforçados, sendo eles, com inclusão de malhas de aço e com inclusão de geogrelhas. Para construção do projeto e realização da obra seguimos as indicações das seguintes Normas ABNT: NBR 6457 (ABNT, 1986), Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de Caracterização; NBR 6459 (ABNT, 1984), Determinação do limite de Liquidez; NBR 6509 (ABNT, 1984), Grão de Solos que passam na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica; NBR 6892 (ABNT, 2013) Materiais Metálicos – ensaios de tração; NBR 7180 (ABNT, 1984), Solo – determinação do limite de plasticidade; NBR 7181 (ABNT, 1984), Análise Granulométrica; NBR 7182 (ABNT, 1986), Solo – ensaio de compactação; NBR 7480 (ABNT, 2007), Aço destinado a Construção Civil; NBR 9286 (ABNT, 1986), Terra armada; NBR 12824 (ABNT, 1993), Geotexteis – determinação da resistência a tração não confinada: ensaio de tração de faixa Larga; NBR 13359 (ABNT, 1995), Geotêxteis – determinação da resistência ao puncionamento estático: ensaio com pistão tipo CBR.

3.1 Caracterização das obras

Inclusão de malhas de aço: O muro de solo reforçado com inclusão de malhas de aço está situado no viaduto de acesso à cidade de Turuçu/RS na BR-116, no Km 482+800 ao Km 483+440, conforme figura 1 e 2.

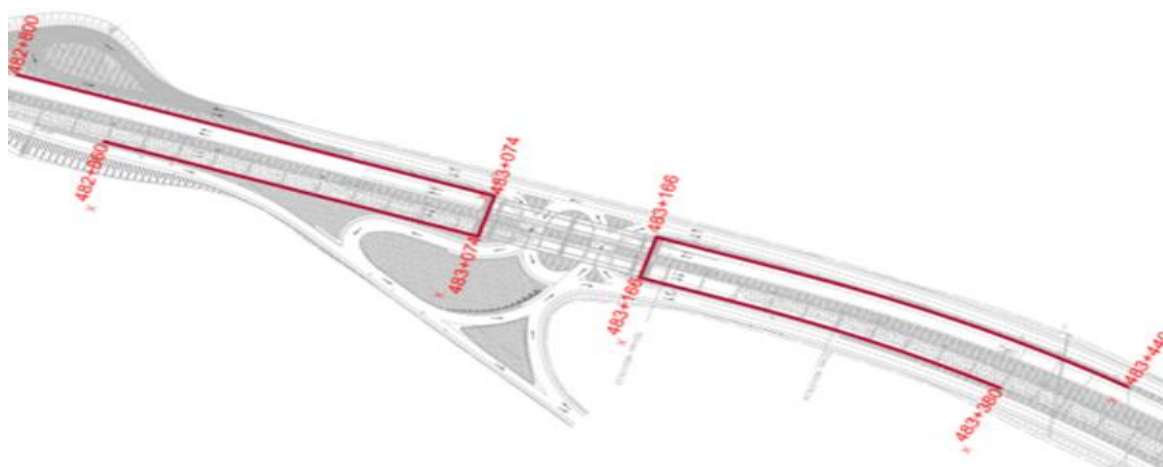


Figura 1 - Localização do muro com inclusão de malhas de aço.
Fonte: Enecon S. A., 2012.



Figura 2- Face amento do muro com inclusão de malhas de aço.
Fonte: Autor, 2015.

Inclusão de geogrelhas: O muro de solo reforçado com inclusão de geogrelhas está situado no viaduto de acesso à Avenida 25 de Julho, na cidade de Pelotas/RS na BR-116, no Km 519+560,5 ao Km 520+292,5, conforme figuras 3 e 4.

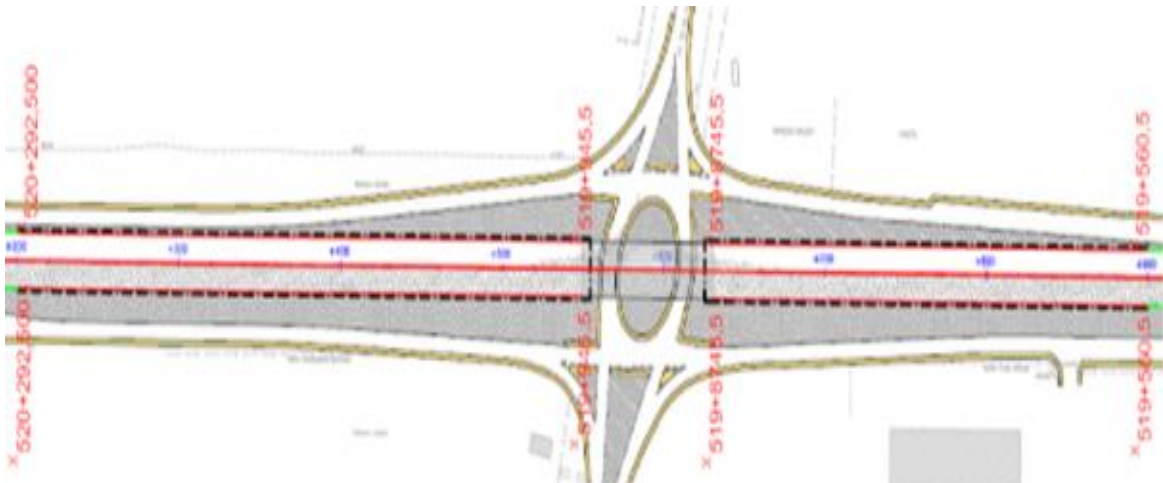


Figura 3- Localização do muro com inclusão de geogrelha
Fonte: Enecon S. A., 2012.



Figura 4 - Face amento do muro com inclusão de geogrelha.
Fonte: Autor, 2015.

Extensões: O muro com inclusão de malhas de aço por se tratar de execução em curva têm dimensões diferentes dos seus lados, Direto = 426,64m, e Esquerdo = 533,32m. O muro com inclusão de geogrelhas tem sua execução em linha reta, conseqüentemente dimensões iguais, lado Direito = lado Esquerdo = 661,00m.

Alturas: DNIT classifica as alturas de muros de solo com inclusão de malhas de aço da seguinte forma: 0,00m a 6,00m, de 6,00m a 9,00m e de 9,00m a 12,00m. Já para muro de solo com inclusão de geogrelha também há classificação, contudo as alturas são: 0,00m a 3,00m, de 3,00m a 6,00m e de 6,00m a 9,00m. O muro com inclusão de malhas de aço tem altura máxima de 9,95m. Já o muro com inclusão de geogrelha possui sua maior altura de 8,50m. Embora as alturas sejam diferentes é passível de comparação, tendo em vista que a diferença não é tão expressiva.

Larguras: O muro com inclusão de malhas de aço tem largura igual a 29,47m. Já o muro com inclusão de geogrelha tem sua base com dimensão igual a 25,40m e seu topo com 24,26m.

Inclinações: A inclinação do muro de malhas de aço, na fase de execução, é de 89,4° para a parte interna, em relação ao eixo x. Contudo, completada a compactação o ângulo deve se igualar a 90°. Já o muro com inclusão de geogrelhas, possui uma inclinação de 86,2° para o interior, também em relação ao eixo x. Entretanto mesmo após a compactação a inclinação é permanente.

Áreas: As áreas de face construídas em ambas as estruturas são divididas por zonas, compreendidas entre as alturas específicas. As Tabelas 1 e 2 representam estas, respectivamente aos muros reforçados com inclusão de malhas de aço e com inclusão de geogrelha.

Tabela 1 - Áreas totais de projeto do muro com inclusão de malhas de aço.

Muro com inclusão de malhas de aço	
Alt. total entre (m)	Área (m²) - projeto
0,00 a 6,00	1.538,00
6,00 a 9,00	4.636,00
9,00 a 12,00	899,00
Total	7.073,00

Fonte: Enecon S. A., 2012 (adaptado pelo autor).

Tabela 2 - Áreas totais de projeto do muro com inclusão de geogrelha.

Muro com inclusão de geogrelhas	
Alt. total entre (m)	Área (m ²) - projeto
0,00 a 3,00	336,98
3,00 a 6,00	2.119,54
6,00 a 9,00	4.980,34
Total	7.437,00

Fonte: Enecon S. A., 2012 (adaptado pelo autor).

Valores de ficha: No muro com inclusão de malhas de aço, o valor de embutimento mínimo é de 0,50m. Contudo, no muro com inclusão de geogrelhas, este valor é de 0,80m.

3.2 Caracterização das obras

Fundações: No muro com inclusão de malhas de aço foi executada fundação com rachão, de 1,40m de base e 1,00m de altura. Já no muro com inclusão de geogrelha foi fundação da mesma tipologia, contudo de 1,50m de base e 1,00m de altura.

Soleiras de nivelamento: No muro com inclusão de malhas de aço, a soleira tem dimensões de 0,15m x 0,35m em toda extensão. Sua execução é em concreto simples de resistência mínima a compressão de 13 MPa. Porém a soleira é descontínua, tendo em vista os desníveis existentes no solo. Neste projeto, foi considerado o escalonamento de 0,75 m, conforme é possível observar na (Fig. 5). A mesma figura também representa que quando há execução um degrau de soleira, o projeto apresenta um intervalo horizontal de 0,44 m, considerando as geometrias das placas.

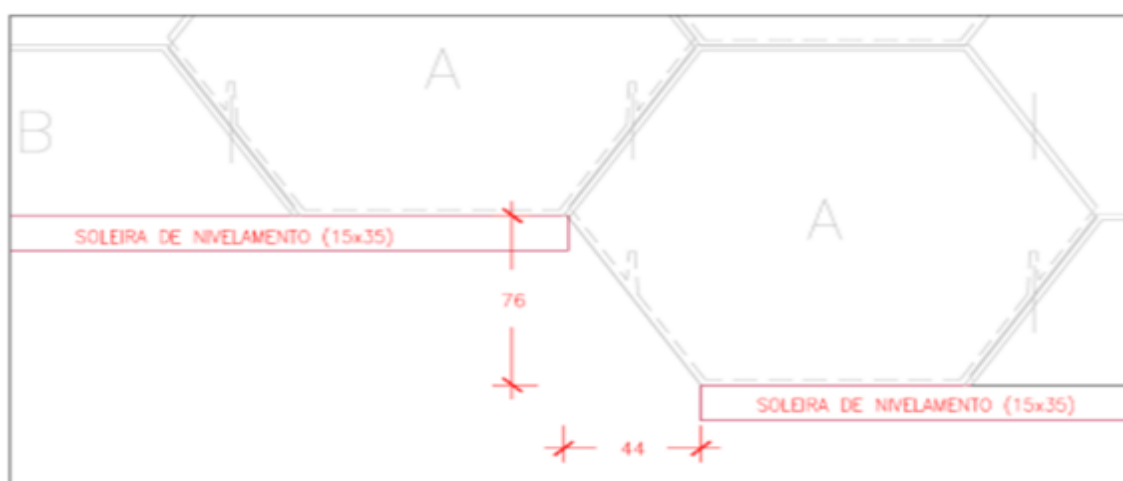


Figura 5 - Soleiras em desnível de patamares.

Fonte: Enecon S. A., 2012.

Com inclusão de geogrelha, as dimensões são: 0,20m x 0,60m em toda extensão do muro, também é de concreto simples, mas com resistência mínima a compressão de 20 MPa.

3.3 Elementos de Face

Blocos pré-moldados: O muro com inclusão de geogrelha tem como elementos de face os blocos de concreto estrutural tipo TERRAE-MW, com resistência mínima a compressão aos 28 dias de 10 MPa. Esses blocos são pré-fabricados e fornecidos por uma empresa do estado do Paraná, visto a isso, não se obteve mais detalhes da produção.

Painéis de concreto: No muro com inclusão de malhas de aço, os elementos de face são painéis de concreto armado com geometrias definidas nas peças do projeto (anexo). Os painéis são de 26 tipos, sendo eles denominados de tipo: A, A.1, B, T1, T1.1, T2, T2.1, T3, T3.1, T4, T4.1, F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15. Além desses, é informado no documento que o paramento é constituído por 736 peças, com dimensões diferentes uma da outra, sendo estas, peças de acabamento, denominadas de tipo R1, R2, (...) até R736. Todos os painéis tem espessura igual a 16,50cm. As placas são produzidas no canteiro de obras, pela mesma empresa terceirizada responsável pela execução do muro. Diante disso, foi obtida uma série de informações, descritas abaixo.

Montagem do molde: As laterais são montadas e fixadas na base através de chumbadores. O fundo do molde é a face aparente da escama. A Figura 6 ilustra as mesas de serviços utilizadas para confeccionar as placas.

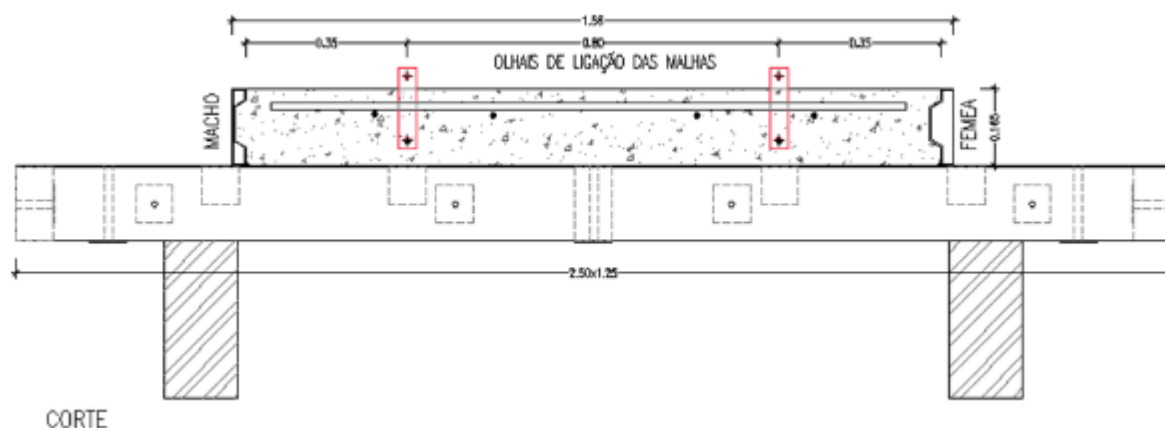


Figura 6 - Modelo da mesa de serviço.
Fonte: Autor 2015.

Elementos construtivos especiais: Existem 3 tipos de aplicações nas obras da BR 116, entre elas são: Espigões de alinhamento, Varões e Olhais.

Espigões de alinhamento: Os espigões são firmados no molde por meio de luvas, os quais são untados por graxa. O aço é CA-25, vergalhão liso de diâmetro 1 mm, com comprimento de 300 mm. O total de espigões informado em projeto é de 7.449 unidades. *Varões:* São barras de polipropileno de diâmetro externo de 20 mm e comprimento de 300 mm. *Olhais:* São executados conforme detalhamentos. A quantidade de olhais varia conforme a zona a qual estão posicionados, descritas na Tabela 3, bem como indicados no projeto em anexo.

Tabela 3 - Olhais e armaduras posteriores.

Zona	L=Malha	1° Nível n°	2° Nível n°	3° Nível n°	4° Nível n°
Zona A	600 cm	5	3	5	7
Zona B	500 cm	5	3	5	x
Zona C	400 cm	5	3	5	x

Fonte: Enecon S. A., 2012 (adaptado pelo autor).

A) **Concreto:** O concreto para a fabricação das placas foi dosado para atender a resistência característica $f_{ck} \geq 25$ MPa e resistência à compressão a 7 dias de $f_{c7} \geq 15$ MPa. O concreto foi usinado pelas instalações da própria empresa no canteiro de obras e não foram utilizados aceleradores, retardadores de pega, incorporadores de ar, plastificantes e nem quaisquer outros aditivos.

B) **Armaduras:** As armaduras das escamas devem seguir os detalhes de armação que fazem parte do projeto executivo da obra (em anexo). O aço é CA-50 e o vergalhão é nervurado. As armaduras foram montadas antes de serem colocadas nas formas. Os recobrimentos de todas as armaduras, à face posterior são de 30 mm. Já os recobrimentos das armaduras ao topo dos painéis, são de no mínimo 50 mm. A Tabela 4, mostra a quantidade de aço CA-50 de vergalhão nervurado que é utilizado para cada tipo de placa.

C) **Óleo desmoldante:** Foi aplicado, com panos limpos, óleo desmoldante nas formas de aço antes de cada concretagem.

D) **Peças de madeira:** Blocos de madeira ou sarrafos são necessários para a estocagem horizontal das escamas. São utilizados entre as escamas empilhadas, para evitar que a parte aparente das ligações seja danificada e/ou danifique as suas faces. Um cuidado a ser tomado é de não deixar as escamas apoiadas diretamente sobre o solo, mas sim sempre sobre peças de madeira.

E) **Graxa:** A graxa, de origem mineral, foi usada entre os varões e a luva fixada no molde, evitando que após a concretagem houvesse dificuldade de separação. Ainda, cabe ressaltar que os mesmos cuidados descritos para o óleo desmoldante, devem ser adotados para a graxa.

Equipamentos e ferramentas: o Vibrador de agulha, Um modelo pequeno com agulha de diâmetro de 20 a 40 mm foi imprescindível para a concretagem das escamas. Os equipamento para içamento

das escamas do fundo do molde, Um caminhão munck com pequeno guindaste é recomendável para a movimentação adequada das escama; Pequenas ferramentas, Chaves de boca para montagem dos moldes e marretas de borracha para desmoldagem.

Tabela 4 - Quantitativo de aço para cada tipo de placa.

Armaduras dos Painéis			
Tipo	Total Kg/painel	Tipo	Total Kg/painel
A	8,2	F3	6,24
A.1	8,2	F4	3,87
B	3,96	F5	3,78
T1	3,83	F6	3,87
T1.1	1,64	F7	6,24
T2	3,83	F8	8,01
T2.1	1,64	F9	3,65
T3	7,71	F10	8,11
T3.1	3,71	F11	1,12
T4	7,71	F12	7,55
T4.1	3,73	F13	2,36
F1	4,51	F14	1,12
F2	0,83	F15	8,11

Fonte: Enecon S. A., 2012 (adaptado pelo autor).

3.4 Materiais de Reforço

O material de reforço que consiste o muro com inclusão de malhas de aço (Fig. 7) é varões CA-60, eletrossoldados, possuindo elementos longitudinais com seção de Ø8mm e afastamento de 15 cm e transversais com seção de Ø6mm e afastamento de 30 cm.



Figura 7- Malhas de aço para inclusão no aterro.

Fonte: Autor, 2015.

O aço é de fornecimento brasileiro, galvanizado a quente, com uma espessura de 85 μ . A armadura é colocada por níveis verticais de 0,75cm a medida que o aterro é executado. O comprimento das malhas (Lm) depende da zona onde estão posicionadas, sendo divididas em três, Zona A = 6,00m; Zona B = 5,00m; Zona C = 4,00m.

O material de reforço utilizado no muro com inclusão de geogrelha é constituído por geogrelhas Fortrac. Seus tipos e comprimentos dependem da altura do muro, divididas da seguinte maneira: S 300: seções executadas com altura total variando de 0,0m a 3,0m; S 600: seções executadas com altura total variando de 3,1m a 6,0m; S 900: seções executadas com altura total variando de 6,1m a 9,0m. A Tabela 5 apresenta os comprimentos, e outras características.

Tabela 5- Características das geogrelhas quanto ao tipo.

SEÇÃO	L (m)	J (kN/m)	T (5%) (kN)
S 300	3 (+1)	700	35
S 600	5 (+1)	1100	55
S 900	7 (+1)	1600	80

Fonte: Enecon S. A., 2012 (adaptado pelo autor).

Onde: L (m) = Comprimento do reforço mais dobra na conexão; J (kN/m) = Módulo de rigidez longitudinal; T (5%) (kN) = Resistência à ruptura para alongamento específico máximo de 5%. Fabricada na Alemanha, sua composição é de materiais sintéticos de alto módulo e baixa fluência, que recebem um revestimento polimérico de proteção. A geogrelha escolhida é a Fortrac “M” produzida a partir do álcool de polivinila (PVA), a qual apresenta uma elevada rigidez à tração em combinação com uma alta resistência a produtos químicos, sobretudo em ambientes alcalinos.

3.5 Materiais de Aterro

O muro com inclusão de malhas de aço iniciou sua execução conforme previsto em projeto, com material granular. Porém, com as dificuldades encontradas na obtenção desse material, foi substituído por solo argilo-arenoso, o qual estava disponível em uma jazida próxima à obra.

Esse solo foi utilizado somente para o aterro do maciço reforçado, ou seja, onde há inclusão de malhas de aço. Já no centro do muro, onde não há inclusão de reforços, o material utilizado consistiu em solo argiloso. Este solo argiloso foi também utilizado para a compactação das últimas camadas (80 cm finais), em toda a extensão do muro, tendo por finalidade o selamento do maciço.

Em geral, o aterro armado é compactado com um mínimo de 95% do Proctor Normal. Ainda é recomendado no mínimo um ponto de coleta para ensaio de densidade “in situ” para cada camada de compactação.

Para o muro com inclusão de geogrelhas, foi previsto o uso de argila, material abundante nas proximidades da obra. Entretanto, o uso da mesma não é indicado em regiões que ocorram grandes precipitações pluviométricas e alta umidade local, tendo em vista que, para que ocorra a aceleração de secagem até atingir a umidade ótima de compactação é necessário o processo de gradeamento, porém esse processo é inexequível pelo reforço (geogrelha) inserido.

Durante a execução da obra, optou-se pela troca do material com característica de argila por areia. Mesmo com a dificuldade de encontrar jazidas de solos arenosos na região e pela diferença de custo, tal mudança foi necessária pela produtividade da obra, tendo em vista a ocorrência frequentes e expressivas de chuvas.

Então, revisto o projeto foi determinado o uso de solo arenoso nos locais reforçados pelas geogrelha (junto às faces) e permanecendo a tipologia argilosa no centro do muro. Contudo, a selagem na última camada de aterro (80 cm), revista pra ser toda em argila também.

3.6 Acessórios Complementares

São utilizados acessórios complementares no muro com inclusão de malhas de aço, sendo eles: almofadas de apoio, castanhas de aperto, espaçadores e cunhas. As almofadas de apoio são de polietileno, em número de duas por painel, com dimensões de 7cm de largura, 7 cm de comprimento e 2,5cm de espessura.

Quanto às castanhas de aperto são confeccionadas através de duas madeiras de 15 cm x 30 cm x 0,05cm, largura, comprimento e espessura, respectivamente e uma barra rosqueáveis de diâmetro igual a 12 mm e comprimento de 50 cm, fixados com duas porcas. Os espaçadores, confeccionados em madeira, são utilizados de dois a quatro por painel. Já as cunhas, do mesmo material, são necessárias duas por painel de base, e também no travamento das malhas de aço entre os olhais e passadores, conforme Figura 11.

3.7 Drenagens

Os muros com inclusão de malhas de aço apresentam como material drenante o geotêxtil, utilizado nas faces internas das juntas de dilatação (mínimo 30 cm de largura), com função da passagem da água para o exterior do maciço. A drenagem longitudinal é composta por tubos de 40 cm de diâmetro, localizados inferiormente do lado externo do maciço. Já os com inclusão de geogrelha, o material drenante são as britas nº 0. Estas preenchem as cavidades dos blocos e o espaço, conforme já citado, de 15 cm das suas faces.

3.8 Execuções

Os muros são executados por duas empresas vencedoras das licitações propostas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. As mesmas são responsáveis pelo fornecimento de material, transporte e equipamentos, além da execução de terraplenagem e montagem dos muros.

No caso dos muros com inclusão de malhas de aço, as placas são confeccionadas no próprio canteiro de obras, assim como os demais acessórios. Já os blocos Terraes W são elementos pré-fabricados, confeccionados em unidades fabris. Ambas as empresas apresentam suas peculiaridades na execução dos muros, alguns baseados nas literaturas, e outros criados ou adaptados pelas necessidades. Os mais relevantes são descritos a seguir.

3.8.1. *inclusão de malhas de aço*

Inicialmente foi realizada a verificação topográfica da locação do muro e dos níveis das soleiras, após o terreno foi preparado para que o nível da soleira resultasse em espaço suficiente para colocação das malhas de aço (verificando os comprimentos em projeto). Nesta fase verificou-se ocorrência de solos com insuficiência de capacidade de carga, que porventura não foram detectados nas análises geotécnicas, removidos e recompostos por material selecionado e compactado. É também executada a escavação de uma vala, com uso de uma retroescavadeira, para apoio da soleira de concreto. A base da vala foi compactada mecanicamente e em seguida lançado o rachão, por fim compactado mecanicamente.

Com a base de rachão confeccionada, iniciou-se a soleira de concreto magro, determinadas pela locação topográfica, e a locação das formas para o lançamento do concreto magro. Após o lançamento estava previsto em projeto a cura, por pelo menos 24 horas. O topo da soleira será sempre perfeitamente horizontal, e o nível indicado em projeto.

Com a cura da soleira, pode-se iniciar a execução da colocação das escamas, sendo que o alinhamento externo do paramento foi marcado sobre a soleira com giz, lápis marcador ou mesmo riscando com um prego na superfície fresca do concreto. A primeira linha de escama assentada é a soleira de cota mais baixa. Pode-se obter a sequência de montagem no desenho em anexo nº 10281A.

As escamas foram posicionadas com cuidado, de forma que seu pé alinhado com a base marcada, deixando suas cunhas de madeira pelo lado externo entre a soleira e a escama. Essas cunhas são utilizadas para o contraprumo, sendo este de 1,5cm na altura de 1,50m, para o interior do muro, corrigida como já citado após a compactação.

A colocação da segunda escama sobre a soleira foi colocada através de um espaçamento já determinado, para que a terceira fosse inserida entre o espaço da primeira e a segunda (Fig. 8). Vale ressaltar a utilização de espaçadores, para se garantir a junta uniforme de 2,00cm.



Figura 8 - Exemplo de ordem de colocação das placas.

Fonte: Autor, 2015.

Após a colocação da primeira linha de escamas, estas foram escoradas provisoriamente por madeira roliça na forma de mão francesa. O escoramento permaneceu até que o aterro atingisse 1,50m sobre a soleira. Acima da primeira linha, conforme o projeto o escoramento não era mais necessário, porém foi optado na execução o escoramento até a segunda linha.

Após o assentamento das dez primeiras escamas, o projeto previa a verificação do alinhamento, tomando uma visada, podendo ser com auxílio de uma linha, ao longo das cabeças das escamas inteiras e caso necessário a realização de ajustes para obter o alinhamento previsto.

O geotêxtil, anexado às juntas dos painéis, cobrindo assim todos os espaços horizontais e verticais no tardo, foram inseridos pelo lado do aterro, obviamente, sempre antes do cobrimento da área com solo. Com a devida colocação do geotêxtil é lançado e espalhado à primeira camada de aterro, onde devem ser feitos até próximo ao paramento, não mais do que 30 cm de distância. A espessura da camada uniforme e acabada de compactação não deve exceder 25 cm. Após a conclusão da primeira camada, é iniciada a colocação das malhas, conectadas às placas através dos olhais.

A colocação das malhas é de maneira manual, com auxílio de dois operários, posicionando sobre o aterro já compactado e encaixando através da chave de lição e cunhas, conforme projeto anexo. Posteriormente a etapa de colocação das malhas, é iniciado o próximo lançamento e compactação de aterro até o topo das meias escamas. Consta em projeto ainda que o aterro deva ser

espalhado sempre do centro do maciço para suas laterais, e de maneira paralela ao alinhamento das escamas. O lançamento do aterro junto ao paramento deve ser sempre o último a ser realizado.

Foi utilizado como equipamento de terraplenagem para espalhamento do material, trator de esteira, tomadas as devidas cuidado para que as esteiras metálicas não passassem diretamente sobre as armaduras, além disso, recomendado ao operador do trator, cuidados no giro do equipamento, pois segundo o dimensionamento as esteiras poderiam movimentar o aterro bruscamente e assim possivelmente desalinhar as peças.

Ao final de cada dia de trabalho, o aterro permanecia com uma declividade transversal, principalmente se estava previsto chuva, para permitir eventual drenagem superficial para o lado oposto ao paramento, evitando assim danos ao corpo do aterro recém-executados. Em caso de encharcamento ou saturação da camada recém-executada, estas eram escarificadas e aeradas e recompactada dentro da umidade especificada.

Assim que compactada o primeiro aterro sobre a primeira malha de aço, foi repedido o procedimento até o topo. Não era permitido em nenhuma hipótese assentar uma escama sobre a outra que não esteja totalmente aterrada.

As castanhas de aperto, utilizadas nos encontros de placas eram inseridas assim que o contra prumo fosse ajustado. Quando assentadas as novas placas, as castanhas eram removidas duas a duas. Uma recomendação importante das especificações era que deveria ser concluído o reaterro externo antes de o muro atingir 50% de sua altura final. Ainda, paralelamente a execução do muro, foi inserida a rede de esgoto pluvial junto às faces. A composição consistia na colocação de manta geotêxtil, posteriormente a brita e por fim os tubos, envolvidos por brita e pelo geotêxtil.

3.8.2. *inclusão de Geogrelhas*

Processo inicial semelhante ao anterior. Verificação topográfica da locação do muro e do nível das soleiras, colocação das geogrelhas (verificando os comprimentos em projeto), verificação e remoção de solos com insuficiência de capacidade de carga. Já as escavações, e a execução das valas também foram realizadas das mesmas maneiras (Fig. 9), descrita no muro com inclusão de malhas de aço. Com o término da parte anterior, foi posicionada manualmente a primeira fiada dos blocos, de forma que sua base ficasse nivelada. Sua acomodação no concreto fresco foi feita com a ajuda de um martelo de borracha. Para garantir um padrão de qualidade, a cada 2,00m de blocos assentados, foi aferido o nivelamento. Uma vez que a primeira fiada foi assentada, os espaços das cavidades dentro dos blocos foram preenchidos com solo e manualmente compactados. Um detalhe importante observado nessa etapa foi a limpeza, uma vez que os blocos são encaixados a seco e precisam de um ajuste fino.



Figura 9- Execução de vala com rachão para apoio da base da soleira.
Fonte: Autor, 2015.

A segunda fiada foi realizada da mesma maneira, seguindo o alinhamento e a inclinação desejada através do “dente” inferior do bloco. Uma vez colocado os blocos, o espaço das cavidades são novamente preenchidos e novamente compactados. Após as duas primeiras fiadas executadas iniciaram-se o lançamento e espalhamento da primeira camada de aterro. Esta realizada até próximo ao paramento, mas respeitando a distancia de 30 cm dos mesmos. O espalhamento do aterro foi realizado através de um trator de esteira e os cuidados tomados foram semelhantes à execução do muro anterior. A respeito da compactação do maciço, foi realizado através de um rolo liso CA250 de peso igual a 14 toneladas, sendo sua compactação em camadas de 30 cm acabadas. Já a compactação no centro muro, onde não há geogrelha, foi executado com o mesmo rolo, porém com capa metálica corrugada. E na zona de 1,50m no tardoz do paramento, foi compactada com rolo compactador de valeta, de peso igual a 1,2 toneladas, visando evitar deslizamentos.

Após a conclusão da primeira camada de aterro, foi iniciada a colocação das geogrelhas. Elas são aplicadas em rolos, com largura de 5 metros, no sentido perpendicular ao muro, ao longo de todo seu comprimento. Seu comprimento no interior do aterro é variável, conforme o Tabela 7.

A colocação da geogrelha foi realizada manualmente entre os blocos, a cada 60 cm de altura, ou seja, a cada três fiadas. Ainda é colocada sobre os blocos, com seu primeiro 1 metro, a dobra da conexão. Após a colocação da geogrelha, e as fiadas de blocos assentadas, uma forma é posicionada a uma distância de aproximadamente 15 cm e então o espaço interno e as cavidades dos blocos são preenchidos com brita. Quando completado o preenchimento, as geogrelhas são esticadas no interior do aterro, fixas por tacos de madeira.

Caso não ocorra o correto travamento da geogrelha, quando aplicada carga no aterro, ou até mesmo a movimentação das máquinas, pode ocorrer deslocamento, comprometendo assim uma de suas funcionalidades, de resistir à tração, conseqüentemente podendo levar o muro ao colapso. Considerando o pleno travamento da geogrelha, foi executada a primeira camada de 20 cm de

compactação. Assim o procedimento se repetiu até o topo do muro. Cabe ressaltar que as medidas tomadas ao final de cada dia de trabalho, foram novamente semelhantes às precauções citadas nos muro de malhas de aço.

3.9 Quadro comparativo

Considerando as peculiaridades dos métodos e visando a compreensão de forma mais inteligível foi elaborada a Tabela 6. Esta apresenta confrontação das principais características.

Tabela 6 - Comparativo de vantagens e desvantagens.

Item	Com inclusão de malhas de aço	Com inclusão de geogrelhas	Comparativo
Altura máxima	9,95m (nove metros e noventa e cinco centímetros)	8,50m (oito metros e cinquenta centímetros)	Dimensões conforme necessidades do projeto. Não foram obtidas informações a respeito dos fatores que influenciaram no dimensionamento.
Extensão	L. dir.: 426,64m (quatrocentos e vinte e seis metros e sessenta e quatro centímetros). L. esq.: 533,32m (quinhentos e trinta e três metros e trinta e dois centímetros)	Ambos os lados: 661,00 m (seiscentos e sessenta e um metros)	
Largura	27,47m (vinte e sete metros e quarenta e sete centímetros)	25,40m (vinte e cinco metros e quarenta centímetros)	
Inclinação	90°	86,2°	O muro reforçado com malha de aço apresenta, esteticamente, sensação de fragilidade quanto ao tombamento, tendo em vista o perfeito alinhamento vertical. Diferentemente do outro tipo, que possui uma inclinação considerável.
Valor de ficha	50 cm (cinquenta centímetros)	80 cm (oitenta centímetros)	O muro reforçado com malha de aço, tendo em vista as dimensões reduzidas, apresenta vantagem.
Fundação	Rachão 1,4 x 1,0 (base x altura)	Rachão 1,5 x 1,0 (base x altura)	
Soleira	0,15 x 0,35 (base x altura) (13 Mpa)	0,20 x 0,60 (base x altura) (20 Mpa)	
Elementos de face	26 modelos de painéis de concreto armado com geometrias definidas em projeto moldados <i>in loco</i> de 25Mpa. Mais 736 peças com especiais.	Blocos padrão de concreto estrutural de resistência de 10 Mpa fornecidos por empresa terceirizada.	O muro reforçado com geogrelhas apresenta vantagem. Elementos são simples, possuem padrões, leves e de fácil manuseio e instalação.
Elementos	Espigões, Varões,	Não possuem	O muro reforçado com

construtivos especiais	Olhais entre outros.		geogrelhas apresenta vantagem, pois não possuem elementos construtivos especiais.
Elemento de reforço	Malha de aço. Boa resistência à tração. Bom coeficiente de atrito com o solo. Fácil implantação.	Geogrelhas. Boa resistência à tração. Bom coeficiente de atrito com o solo. Devido a sua massa específica podem ocorrer problemas em relação à perfeita disposição do material.	Em relação às propriedades, a utilização de Geogrelhas leva vantagem. Não foram avaliados os valores de mercado, bem com a disponibilidade local.
Material de aterro	Utilização de material disponível na região.	Utilização de material disponível na região.	Característico da região. Durante o processo ocorreu mudança pelos fatores climáticos. Contudo, entende-se que não pode ser considerado como parâmetro de vantagem ou desvantagem.
Acessórios complementares	Almofadas de apoio, castanhas de aperto, escoras, espaçadores e cunhas.	Cunhas.	O muro reforçado com geogrelhas apresenta vantagem, pois não possuem quantidade de elementos reduzida.
Material drenante no maciço	Geotêxtil	Brita nº 0	Materiais distintos. Como as placas de concreto possuem maior área, conseqüentemente são menores os espaços para a saída da água, então a aplicação de Geotêxtil é reduzida. Diferentemente do muro formado por blocos, cujo tem área grande de inserção das pedras.
Execução/montagem	Placas com maiores áreas de abrangência, contudo necessita maquinário de içamento e/ou de alguns operários para instalação.	Blocos fâcies de instalar pelas suas dimensões. Não necessita equipamentos. A mão de obra varia com a necessidade de produtividade.	Execuções distintas. As placas requerem logística e planejamento para a montagem. Já os blocos são processos simplificados, mas mais trabalhosos.
Manutenção	Reforços enterrados, dificuldade de reparo e/ou substituição.	Peças pequenas, fâcies de serem reparadas e/ou substituídas.	O muro reforçado com geogrelhas apresenta vantagem.
Custos	Não foram fornecidos valores de projeto e execução.	Não foram fornecidos valores de projeto e execução.	Considerando a teoria o muro reforçado com geogrelhas apresentaria vantagem.

Fonte: Autor, 2017.

4. CONCLUSÃO

O muro constituído de malhas metálicas apresenta vantagem referente à rapidez de execução, consequência da maior área superficial, entretanto exigem maior número de maquinário para a execução. Já os dos blocos pré-moldados que são estruturas leves, porém requerem maior quantidade de servidores. Em relação aos elementos de reforço, as malhas metálicas são mais convenientes no sentido de melhor disposição, tendo em vista a maior rigidez e se comportarem melhor antes da compactação do aterro. Apesar disso, elas são mais vulneráveis a ação do tempo, diferentemente dos materiais poliméricos. Todavia estes possuem baixa densidade e pela carência de métodos de fixação apresentam dificuldade na colocação no maciço, podendo apresentar problemas de deslocamento e desprendimento dos blocos.

A manutenção, fato relevante a ser considerado, o muro com inclusão de geogrelhas mostrou-se mais eficiente, isto devido à menor área dos blocos e a simplicidade dos encaixes. Também esse tipo de contenção sai à frente em quesitos de execução e fabricação dos elementos de face, tendo em vista a desnecessidade de numerosos acessórios e elementos especiais.

Por fim, os muros apresentam suas distinções, entretanto seus fundamentos de execução são os mesmos. Apresentam soluções viáveis, seguras, e ainda não necessitam de mão de obra extremamente especializada e nem de grandes equipamentos. No entanto, exigem grande responsabilidade no controle dos materiais e no gerenciamento das equipes.

5. REFERÊNCIAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 6323:** Aço ou ferro fundido – revestimento de zinco por imersão a quente - especificação. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6457/86:** Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 6459/84:** Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 6509/84:** Grão de solos que passam na peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 6892/13:** Materiais metálicos – Ensaio de Tração. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 7180/84:** Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7181/84:** Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7182/86:** Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 7480/07:** Aço destinado à construção civil. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 9286/86:** Terra armada. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 12824/93:** Geotêxteis – Determinação da resistência à tração não-confinada –ensaio de tração de faixa larga. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 13359/95:** Geotêxteis – Determinação da resistência ao puncionamento estático – ensaio com pistão tipo CBR. Rio de Janeiro, 1995.

CASTRO, Alberto de. Introdução ao Método de Pesquisa Fenomenológica Existencial de Georgi. **Revista Pesquisa Qualitativa**. V.6, n.11, p. 136-144, agosto. São Paulo- SP, 2018.

EHRlich, M. & AZAMBUJA, E. Muros de solo reforçado. In: **Simpósio Brasileiro de Geossintéticos**. 4 ed., Anais p. 81-100, São Paulo, 2003.

ENECON S. A. **Travessia Urbana de Turuçu – muros de Terra Armada tipo greide, BR116, Lote 8, Porto Alegre – Pelotas**. Porto Alegre, 2012.

ENECON S. A. **Muros de Contenção em Terrae – acesso à avenida 25 de julho, BR 116, Lote 1A, Contorno de Pelotas**. Porto Alegre, 2012.

FÉLIX, C. M. S. **Comportamento dos muros de terra armada**.157 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil) –Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto-PT, 1991.

LOTURCO, B. **Terras estáveis**. *Téchne*, São Paulo, ed. 131, fev. 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/131/artigo285425-1.aspx>> Acesso em: 17 ago. 2016.

MEDEIROS, A. G. B;CUNHA, R.P. Retro análise de uma estrutura de contenção do tipo estaca prancha no Distrito Federal. **5º Simpósio Brasileiro de Aplicações de Informática em Geotécnica**, vol. único, pp. 347-351. Belo Horizonte, 2005.

SILVA, N. H. **Muros de terra armada – verificação da segurança**.140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa-PT, 2012.