

MANUAL DE OBRAS GEOTÉCNICAS

Grupo de Estudos em Geotecnia &
Programa de Educação Tutorial



Elaborado por:
Grupo de Estudos em Geotecnia UFPR

Damille Pacheco
Isabela Maria Nicaretta
Letícia Maria Oenning
Louise Cuadra
Medhelin Nicole da Cruz Barbosa

Programa de Educação Tutorial Engenharia Civil UFPR

David Silva Borba Cordeiro
Denis Daniel de Lima Souza
Fernanda Gomes Goes
Gabriel Marcarini Simionato
Gabriel Proença Ferreira
Helena Pauline Schulze
Lorena Belén Sánchez Clavijo
Marcus Vinicius Theodoro de Camargo
Nathanael Montes da Silva
Rafaela Marrino Fernandes
Rodrigo Otávio Fraga Peixoto de Oliveira
Vinicius Eduardo Leopoldino Rupel

Sob a tutoria dos professores:

Elvidio Gavassoni Neto
Vítor Pereira Faro



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	1
TIPLOGIA DE MOVIMENTOS DE MASSA.....	2
RASTEJO	4
CORRIDAS DE MASSA.....	5
ESCORREGAMENTOS.....	7
RECALQUES	10
QUEDAS OU TOMBAMENTOS	11
ROLAMENTOS	12
EROSÃO	13
TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO.....	15
RETALUDAMENTO	17
SOLO GRAMPEADO	18
MURO GABIÃO.....	29
CHAVE GRANULAR DRENANTE.....	34
REFORÇO DE SOLOS MOLES E TALUDES DE POUCA INCLINAÇÃO ...	38
BARREIRA	40
ESTABILIZAÇÃO DE BLOCOS EM RISCO DE QUEDA	41
BANQUETAS VEGETADAS	42
CANALETAS VEGETADAS.....	47
CINTO BASAL SIMPLES	50
CINTO BASAL COM DESNÍVEL	55
CINTO BASAL SALIENTE	58
ESTEIRAS VIVAS	62
FAXINAS OU FEIXES VIVOS.....	64
GABIÃO VIVO OU VEGETADO	66
GRADE VIVA	67
PALIÇADAS VIVAS	77
RÂMPROLAS – ESPIÇÕES TRANSVERSAIS	84
SACARIAS VIVAS	89
TERRA REFORÇADA E VEGETADA	90
TRANÇA-VIVA	100

CONSIDERAÇÕES FINAIS 111

REFERÊNCIAS..... 112

APRESENTAÇÃO

O Grupo de Estudos em Geotecnia (GEGEO) juntamente com o Programa de Educação Tutorial de Engenharia Civil (PET Civil) da Universidade Federal do Paraná tem o prazer de apresentar o Manual de Obras Geotécnicas para assessorar a Rumo Logística ao longo de suas malhas ferroviárias.

Este documento visa apresentar certos fenômenos geotécnicos que podem ocorrer em solos moles, em encostas e taludes naturais e de escavação, que se negligenciados podem vir a interferir nas atividades da empresa, podendo também apresentar risco à vida.

Nesse panorama, iremos abordar possíveis soluções para estes fenômenos e seus respectivos métodos executivos. Ainda, serão indicadas maneiras de como tais métodos poderiam ser adaptados para materiais ferroviários de descarte, como trilhos de aço, dormentes e lastro de pedra britada.

Em conjunto, serão descritas algumas técnicas de engenharia natural, que possuem um grande potencial para auxiliar na estabilidade dos taludes e na vida útil dessas obras.

O projeto em questão baseou-se em dados de topografia gerais, retirados de mapas geológicos e parâmetros fornecidos pela própria empresa.

Este manual geotécnico é o resultado do esforço e aprendizado de um grupo de alunos que, voluntariamente, se comprometeram a buscar soluções eficientes e práticas, adquirindo uma grande experiência durante sua formulação.

Agradecemos a oportunidade oferecida a nós pela Rumo Logística e sua confiança e reconhecimento por nosso trabalho e dedicação.

TIPLOGIA DE MOVIMENTOS DE MASSA

Segundo a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) a estabilização de taludes e encostas pode ser definido como um tratamento aplicado a uma porção de terreno, natural ou modificado, visando o melhoramento de suas características físicas de resistência ao intervir nos condicionantes relativos à natureza dos materiais que o constituem e nos agentes deflagradores dos processos responsáveis por sua instabilidade.

Tais processos podem ser de caráter superficial, como erosão e escorregamento, ou envolver movimentos mais intensos de massa, como queda de bloco e corrida de lama. No que diz respeito aos agentes condicionantes da instabilidade, esses envolvem a geologia, englobando litologia, composição e estrutura; a morfologia, envolvendo declividade e comprimento de rampa; e a hidrogeologia, que considera as águas superficiais e subterrâneas da encosta.

Já as causas da instabilidade podem ser devido a fatores externos, como modificações na geometria da encosta, retirada da proteção superficial vegetal ou de solo mais resistente, condições climáticas e solicitações sísmicas, ou fatores internos, como a diminuição da resistência do terreno, variações no nível d'água, erosão interna e liquefação espontânea.

Nesse panorama, as ações de estabilização de encostas e taludes geralmente envolvem ações de mudança em sua geometria, implementação de sistemas de drenagem e reforço do maciço com obras de contenção.

No entanto, para serem tomadas medidas preventivas ou estabilizadoras, é preciso, primeiramente, identificar o tipo de fenômeno que está a acometer a encosta. Com isso em mãos, será possível decidir o tipo de intervenção mais eficaz técnica e economicamente.

Tendo em vista essa situação ideal, nas próximas seções serão brevemente apresentados os principais tipos de movimentos de massa

e problemas que podem ser encontrados em taludes de corte e aterro ao longo da malha ferroviária (QUADRO 1).

As ações corretivas apresentadas abrangem tanto o universo das obras de engenharia convencional, quanto o de engenharia natural, buscando, sempre que possível, relacioná-las com materiais utilizados nas malhas ferroviárias.

QUADRO 1 - MOVIMENTOS E PROBLEMAS DE TALUDES

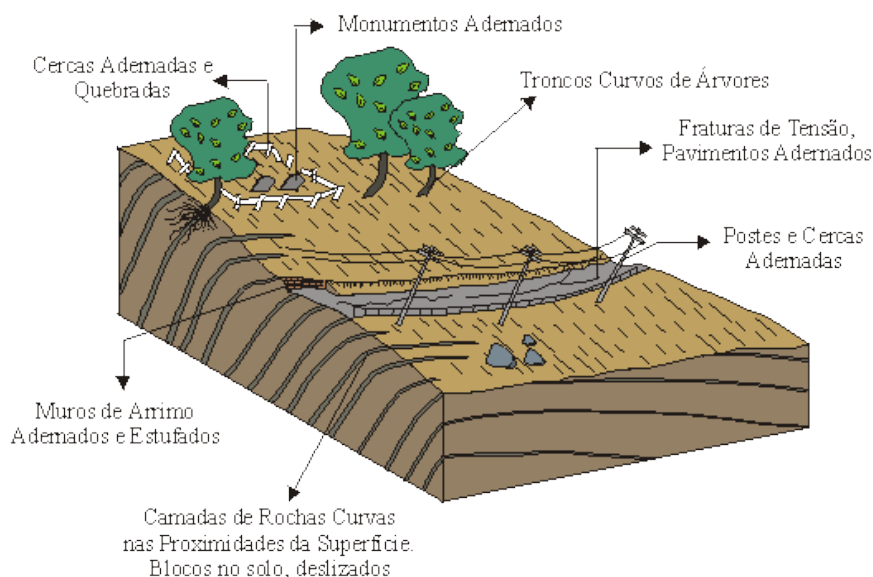
Tipo de Movimento			Tipo de Material
Quedas e Tombamentos			De bloco, de detrito e de terra
Rolamentos			De bloco, de detrito e de terra
Escorregamento	Rotacional	Poucas unidades	De rocha ou blocos rochosos, de detritos ou blocos de detritos, de terra ou blocos de terra
	Translacional	Muitas unidades	
Escoamentos	Rastejos		De rocha, de detritos e de terra
	Corridas		
Recalques			De terra
Erosão			De rochas e de terra
Complexos: combinação de dois ou mais tipos de movimentos			

FONTE: Adaptado de Gerscovich, 2012.

RASTEJO

Movimentação classificada como um tipo de escoamento, sendo esse caracterizado por deformações ou movimentos contínuos, podendo apresentar ou não uma superfície de movimentação bem definida.

FIGURA 1 – EXEMPLO DE RASTEJO



FONTE: UNESP, 2017.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

- Movimento lento e contínuo, avançando centímetros em um ano;
- Pode apresentar um avanço com velocidade não-uniforme ao longo de uma seção, diminuindo com a profundidade;
- Capaz de mobilizar solos, rochas ou uma mistura de ambos;
- Não apresenta limites definidos entre as camadas em movimento e as estacionárias;

- Pode apresentar vários planos internos de deslocamento;
- Provocado pela ação da gravidade, com a influência de efeitos provenientes das variações de temperatura e umidade;
- Mudanças do teor de água em certo volume de material podem iniciar o movimento, que pode ser interrompido na estação seca;
- Em frente a obstáculos, a massa em movimento pode embarrigar, dobrar ou romper.

PRINCIPAIS EVIDÊNCIAS

- Inclinação anormal das árvores da região;
- Troncos de árvores recurvados de maneira característica;
- Perda da verticalidade de postes, cercas e outros elementos introduzidos no solo;
- Deslocamento de blocos, do próprio eixo da ferrovia e outros;
- Aparecimento de trincas e rupturas em elementos rígidos, como muros e paredes;
- Eixo da ferrovia sofrendo inflexões no alinhamento;
- Aparecimento de fendas no solo.

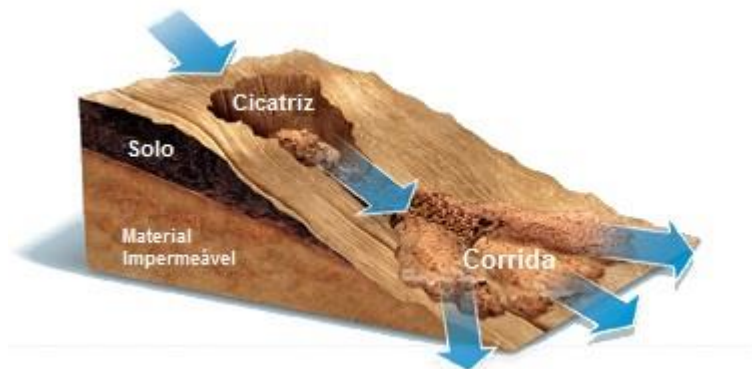
POSSÍVEIS SOLUÇÕES

1. Solo grampeado;
2. Banquetas vegetadas;
3. Esteiras vivas;
4. Paliçadas vivas;
5. Râmprolas.

CORRIDAS DE MASSA

As corridas de massa ou detritos, em conjunto com o rastejo, compõe os movimentos caracterizados como escoamentos, sendo fenômenos contínuos de velocidades variadas.

FIGURA 2 – EXEMPLO DE CORRIDA



FONTE: Adaptado de Skinner & Porter, 2004.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

- Movimentação rápida, podendo alcançar velocidades da ordem de 10 km/h;
- Capaz de mobilizar solos, rochas, detritos, água ou uma mistura desses materiais;
- Ocorre pela perda das propriedades de resistência da massa do solo, como seu atrito interno, causando a fluidificação do mesmo;
- O processo de fluidificação do solo pode ocorrer de três maneiras:
 - Pela presença em excesso de água, predominante em solos de caráter arenoso;
 - Por esforços dinâmicos como terremotos e cravação de estacas, predominante em solos tixotrópicos;
 - Pelo processo de amolgamento, no caso de argilas sensíveis;
- Apresenta grau de fluidez extremamente variável;
- Atinge extensões significativas;
- Movimenta grandes volumes de material;
- Apresenta forma alongada com três regiões características, denominadas *raiz* (área a montante de acumulação de material que

irá se movimentar), *corpo de corrida* (região alongada e estreita de fluxo de material) e *base* (área embarrigada a jusante de acumulação do material).

POSSÍVEIS SOLUÇÕES

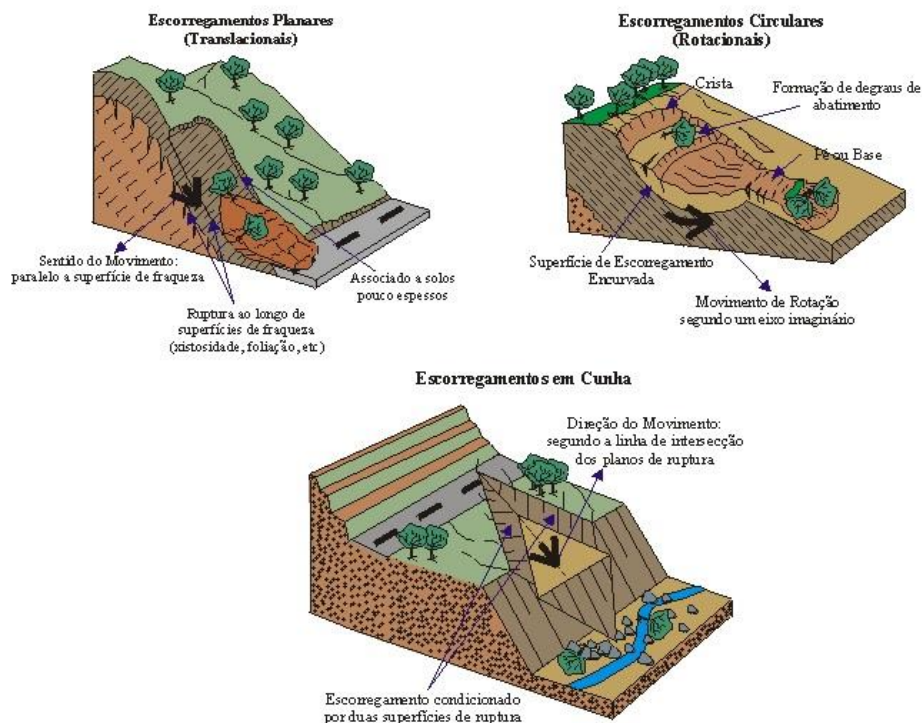
1. Muro gabião;
2. Chave Granular;
3. Barreira de trilhos e dormentes;
4. Banquetas vegetadas;
5. Esteiras vivas;
6. Gabião vivo ou vegetado;
7. Paliçadas vivas;
8. Terra reforçada e vegetada.

ESCORREGAMENTOS

Os escorregamentos se caracterizam como movimentos rápidos de curta duração, movimentando massas com volumes definidos. Se dividem em escorregamentos rotacionais e translacionais.

Escorregamentos rotacionais ocorrem, em geral, em taludes mais íngremes, com espessas camadas de solo, e possuem extensão relativamente limitada, mobilizando simultaneamente mais de uma superfície de ruptura. Já os escorregamentos translacionais, geralmente, ocorrem em taludes mais abatidos, com cunhas de ruptura de menor profundidade que os rotacionais, sendo caracterizados como extensos, capazes de atingir centenas ou milhares de metros.

FIGURA 3 – TIPOS DE ESCORREGAMENTO



FONTE: UNESP, 2017.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

- Podem ser causados por diversos fatores, tendo como premissa a diminuição da relação entre a resistência ao cisalhamento e as tensões cisalhantes atuantes;
 - Essa situação pode ser atingida de duas maneiras distintas: pelo aumento da solicitação ou pela diminuição da resistência ao cisalhamento;
 - Tem como principal agente deflagrador a água;
- Apresenta superfície de ruptura bem definida, com o centro de gravidade da massa se deslocando para baixo e para fora do talude;

- Apresenta poucos planos externos de deslocamento;
- Movimentação rápida, com sua velocidade crescendo rapidamente;
 - Pode atingir velocidades na ordem de metros por segundo;
 - A velocidade máxima atingida é função da inclinação da superfície, da causa inicial da movimentação e das características do terreno;
- Capaz de mobilizar solos, detritos, rochas, blocos ou uma mistura de tais materiais;
- Apresenta geometrias variadas;
- Movimenta de pequenos a grandes volumes de material.

PRINCIPAIS CAUSAS EM TALUDES DE CORTE E POSSÍVEIS SOLUÇÕES

- Inclinação Acentuada:
 1. Retaludamento;
 2. Obras de contenção;
 3. Proteção superficial;
 4. Adequação do sistema de drenagem.
- Presença de Descontinuidade no Solo:
 1. Retaludamento para a adoção de inclinação compatível com a descontinuidade;
 2. Obras de contenção;
 3. Adequação do sistema de drenagem.
- Saturação do Maciço:
 1. Obras de Contenção;
 2. Impermeabilização superficial;
 3. Drenagem superficial e profunda adequadas.
- Erosão:
 1. Abatimento do talude;
 2. Obras de contenção;

3. Adequação do sistema de drenagem;
4. Proteção superficial.

PRINCIPAIS CAUSAS EM TALUDES DE ATERRO E POSSÍVEIS SOLUÇÕES

- Problemas na Fundação: aterros sobre solos com baixa capacidade de suporte:
 1. Melhorar a resistência do solo;
 2. Remoção da camada de solo mole.
- Problemas no corpo do aterro:
 1. Adequação do sistema de drenagem;
 2. Reconstrução do aterro com material de boa qualidade e bem compactado.
- Problemas com o sistema de drenagem:
 1. Adequação do sistema de drenagem;
 2. Engenharia natural.

RECALQUES

Os recalques são fenômenos que apresentam alto potencial de interferência em uma malha ferroviária, afetando o serviço e desempenho da ferrovia. Se em desnível, podem ainda representar um indício de futuros escorregamentos. Ocorrem principalmente quando esta malha atravessa camadas de solos menos competentes, que quando saturados podem ainda ser chamados de solos moles.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

- Movimentos verticais;
- Causados pelo peso próprio, pela variação no estado de tensões efetivas, pela baixa capacidade de suporte da fundação, perda da

resistência do solo ao longo do tempo, compactação inadequada de aterros e ineficiência de drenagem, entre outros;

- A variação de tensões efetivas pode ser causada em consequência de sobrecargas provocadas pela passagem do trem, escavações próximas à ferrovia, rebaixamento e elevações do lençol freático.

QUEDAS OU TOMBAMENTOS

As quedas ou tombamentos são movimentos de massas verticais bruscos e de alta velocidade. Envolvem blocos rochosos que se deslocam em queda livre.

FIGURA 4 – EXEMPLOS DE QUEDAS OU TOMBAMENTOS



FONTE: UNESP, 2017.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

- Desprendimento de blocos de rocha que caem em queda livre;
- Apresenta velocidades muito altas, na ordem metros por segundo;
- Ausência de uma superfície de movimentação;
- Tamanho dos blocos varia de acordo com o grau de faturamento do maciço;

- Causado pela ação do intemperismo, de pressões hidrostáticas e raízes em fraturas, perda de desconfinamento lateral, entre outros;
- O colapso pode ocorrer por mecanismos de descalçamento ou tombamento;
- Movimentação de proporções e geometria variadas;
- Podem ocorrer em conjunto com rolamentos e saltos.

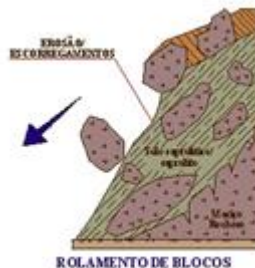
POSSÍVEIS SOLUÇÕES

1. Barreira de trilhos e dormentes;
2. Solo grampeado;
3. Muro gabião;
4. Chave Granular;
5. Esteiras vivas;
6. Gabião vivo ou vegetado;
7. Terra reforçada e vegetada.

ROLAMENTOS

Os rolamentos compõem um tipo de movimentação que ocorre naturalmente em encostas que estão sofrendo de processo erosivo contínuo ou que perderam o apoio de sua base.

FIGURA 5 – ROLAMENTO DE BLOCOS



FONTE: UNESP, 2017.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

- Se dá principalmente pela ação da gravidade;
- Pode ocorrer em conjunto com quedas e tombamentos;
- Apresenta uma superfície de movimentação.

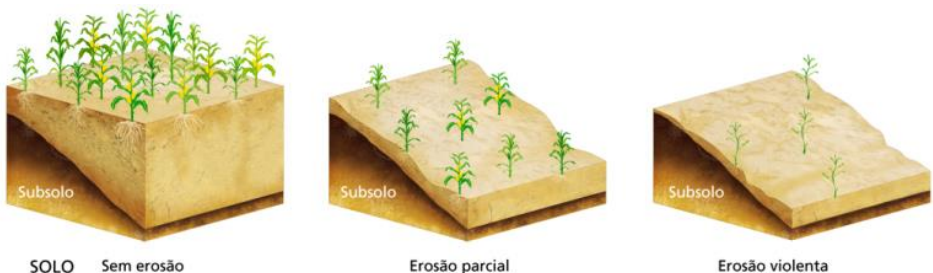
POSSÍVEIS SOLUÇÕES

1. Blocos de rocha que se mostram em risco de rolamento podem ser ancorados pela cravação de trilhos, abaixo destes ou penetrando através deles;
2. Barreira de trilhos e dormentes;
3. Solo grampeado.

EROSÃO

A erosão é um fenômeno de evolução natural, porém que pode ser acelerado e intensificado pela ação antrópica, principalmente no que se refere a desmatamentos e consequente remoção da superfície vegetal que protege o solo. Os processos erosivos podem ser classificados em dois tipos principais, voçorocas ou ravinhas, sendo a primeira de maiores dimensões que a segunda, ambas provocadas pela ação da água em córregos ou enxurradas.

FIGURA 6 – PROCESSO DE EROSÃO



FONTE: Julio Dian, 2011.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

- Causa a destruição e remoção do solo;
- Ocorre pela ineficiência do sistema de drenagem, remoção da proteção superficial, concentração de água superficial, interceptação do lençol freático, entre outros.

PRINCIPAIS FORMAS DE OCORRÊNCIA

- Em sulcos;
- Diferenciada;
- Longitudinal ao longo da plataforma;
- Localizada;
- Internas em aterros (piping);
- Associada a problemas de drenagem.

POSSÍVEIS SOLUÇÕES

1. Implantação de drenagem superficial;
2. Implantação de proteção superficial;
3. Implantação de dissipadores de energia do escoamento de água como bacias de retenção e caixas de dissipação;
4. Retaludamento com recobrimento vegetal;
5. Barreira de trilhos e dormentes;
6. Banquetas vegetadas;
7. Cinto Basal;
8. Esteiras Vivas;
9. Faxinas ou feixes vivos;
10. Gabião vivo ou vegetado;
11. Grade viva;
12. Râmprolas;
13. Sacarias vivas.

TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO

A fim de mitigar os efeitos dos movimentos de massa já tratados no início desse Manual, serão abordadas a seguir técnicas convencionais de estabilização de taludes. A essas, foram implementadas adaptações pontuais, com o objetivo de moldá-las aos materiais ferroviários de descartes, como trilhos de aço, dormentes e lastros de pedra britada. Essas adequações têm por objetivo a reutilização desses materiais, dando a eles um novo destino após a sua vida útil na ferrovia.

De maneira geral, o trilho será apresentado como material substituinte de barras de aço na técnica convencional de solo grampeado (técnica que visa à estabilização de maciços através da cravação de elementos resistentes) sendo elaboradas adaptações convenientes no processo, procurando alcançar a mesma eficiência se comparado ao material convencional. Os lastros de pedra britada serão utilizados em técnicas de estabilização como o muro de gabião (a qual consiste em gaiolas metálicas preenchidas com pedras arrumadas) e a chave granular, constituída em cavas no solo preenchidas por pedras. Os dormentes, junto aos trilhos, serão apresentados como técnicas alternativas para estabilização e reforço de solos moles.

Além das técnicas convencionais, serão apresentadas as técnicas de engenharia natural, visando atrelar elementos vegetais à contenção e estabilização de maciços, as quais apresentam um grande potencial geotécnico. De modo geral, as técnicas de engenharia natural abordadas no presente manual serão: banquetas vegetadas, enrocamento vegetado, gabiões vivos, sacarias vivas, tranças vivas, entre outros. As etapas do processo de execução e demais especificações propostas as técnicas naturais, serão detalhadas a seguir.

Nesse panorama, iremos abordar possíveis soluções e seus respectivos métodos executivos atrelados a adaptações convenientes de soluções convencionais de contenção de encostas, além de técnicas de engenharia natural. As soluções propostas visam o auxílio na

estabilização de taludes e reforço de solos moles com o reaproveitamento de materiais descartáveis, caracterizando obras de reduzida vida útil para situações emergenciais.

RETALUDAMENTO

O retaludamento é uma técnica de estabilização que atua mudando a geometria do talude. É uma solução não estrutural, de simples e barata execução, utilizando apenas um material: o próprio solo.

Essa técnica é aplicável em qualquer tipo de solo ou rocha (neste caso com o uso de explosivos ou outros mecanismos de corte), sendo basicamente, um processo de terraplenagem, utilizando-se de cortes e aterros para alterar o talude original.

Muito utilizado por sua simplicidade e eficácia, é geralmente associado a obras de drenagem e proteção superficial, de modo a reduzir a infiltração de água no terreno e disciplinar seu escoamento, inibindo processos erosivos.

Existem, de modo geral, dois tipos de retaludamento:

- Corte com abrandamento da inclinação média do talude;
- Corte com redução da altura do talude.

TÉCNICA CONSTRUTIVA

1. Corte do talude ou encosta originais por forma a atender às exigências de segurança;
2. Implantação do sistema de drenagem superficial (canaletas, descidas d'água, entre outros);
3. Implantação da cobertura vegetal ou artificial;
4. Caso sejam necessários aterros complementares:
 - a. Preparação da superfície de contato entre o talude original e o aterro de sustentação como a execução de degraus;
 - b. Execução do colchão drenante na área da base do aterro;
 - c. Execução do aterro;
 - d. Implantação do sistema de drenagem superficial (canaletas, descidas d'água, entre outros):

e. Implantação da cobertura vegetal ou artificial.

CUIDADOS GERAIS DE EXECUÇÃO

- Certificar se a geometria está de acordo com o projeto;
- Altura da escavação até o solo de fundação;
- Espessura da camada compactada para aterros;
- Largura e inclinação dos taludes;
- Cota, largura e inclinação das bermas.

PROPRIEDADES

- Inviável quando o espaço é escasso ou a vegetação não pode ser retirada;
- Devem ser previstas canaletas de coleta e escadas hidráulicas para escoamento da água;
- O recobrimento vegetal evita a erosão;
- Um caso especial é a construção, no pé do talude, de uma berma (bancada de terra estabilizada e compactada) que além de diminuir a inclinação do talude funcionará adicionalmente como uma obra de arrimo;
- Áreas retaludadas ficam frágeis devido a exposição de novas áreas cortadas, razão pela qual o projeto de retaludamento deve conter, indispensavelmente, proteção do talude através de revestimentos naturais ou artificiais associados a um sistema de drenagem eficiente.

SOLO GRAMPEADO

Material a ser utilizado:

- *Trilho.*

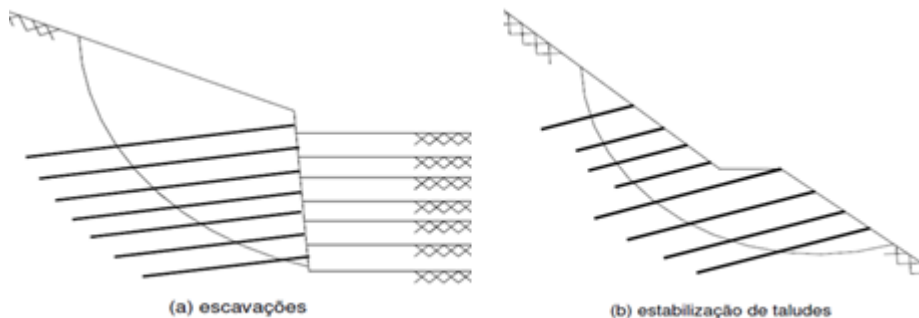
Tipos de Movimento de Massa:

1. Rastejo;
2. Escorregamentos verdadeiros;
3. Deslocamentos de blocos de rocha;
4. Avalanches ou erosões violentas.

A técnica do solo grampeado ou solo pregado consiste no reforço do maciço pela inclusão de elementos, como grampos ou pregos, resistentes às tensões de tração, esforços cortantes e momentos fletores.

Os grampos podem ser introduzidos no maciço por cravação direta dos elementos metálicos (grampo cravado) ou por meio de pré-furos, seguidos por seu preenchimento com nata ou argamassa de cimento e pela introdução das barras metálicas (grampo injetado).

FIGURA 7 – APLICAÇÕES DA TÉCNICA DE SOLO GRAMPEADO



FONTE: GeoRio, 1999.

O material a ser escavado e grampeado deve apresentar uma coesão efetiva mínima de 10 kPa, devido à capilaridade, para se manter estável. Em geral, a maioria dos solos residuais. Portanto, a técnica de solo grampeado somente exclui areias secas e sem qualquer cimentação entre grãos ou solos argilosos muito moles.

ETAPAS DE EXECUÇÃO

1. Perfuração do solo;
2. Introdução dos elementos resistentes;
3. Proteção da face (revestimento do paramento).

TÉCNICA DE GRAMPOS INJETADOS

1. Perfuração do Solo

No processo de perfuração, utiliza-se água ou ar comprimido. O uso de lama bentonítica não é recomendado, devido à potencial redução do atrito entre o solo e o reforço.

As perfurações são normalmente executadas por equipamentos leves, de fácil transporte, manuseio e operação em qualquer talude, uma vez que as perfurações são de pequeno diâmetro (até 200 mm) e não muito longas (até 24 m - máxima cravação).

Para trilhos recomenda-se um comprimento máximo de cravação de 18 m, podendo ser composto por até 3 trilhos de 6 m soldados *in loco*.

FIGURA 8 – ETAPAS CONSTRUTIVAS DE MUROS DE SOLO GRAMPEADO



FONTE: Adaptado de Clouterre, 1991.

2. Introdução dos Elementos Resistentes

Após a realização da perfuração, segue-se à instalação e fixação dos elementos de reforços (trilhos).

Com a introdução dos trilhos nos furos e posicionamento com o auxílio de centralizadores, preenche-se os vazios com fluido cimentante qualquer, usualmente calda de cimento ou resinas. Normalmente utiliza-se calda com elevado teor de cimento para solos, reservando-se as resinas para materiais rochosos.

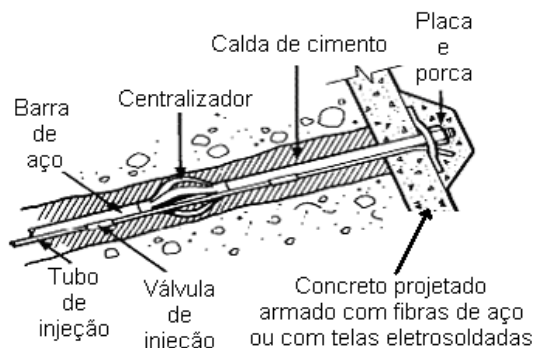
A injeção de calda de cimento é realizada por meio de tubulação acessória, cuja extremidade é posicionada no fundo da perfuração, injetando-se a calda de cimento do fundo para a superfície (processo ascendente), preenchendo-se totalmente a cavidade. A injeção deve ser feita a baixas pressões, aproximadamente 0,5 MPa, ou utilizando-se somente a força da gravidade. Uma pequena inclinação do furo auxilia este processo.

FIGURA 9 – ETAPAS CONSTRUTIVAS DE MUROS DE SOLO GRAMPEADO



FONTE: Adaptado de Clouterre, 1991.

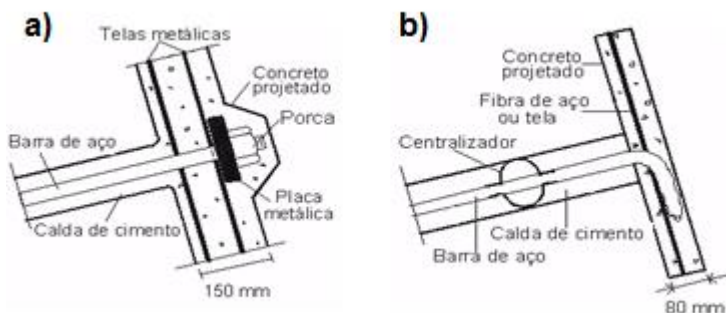
FIGURA 10 – DETALHES DOS GRAMPOS INJETADOS



FONTE: Adaptado de ABMS / ABEF, 1999.

Em relação às cabeças dos grampos, a Figura 11 apresenta os tipos mais utilizados. No primeiro tipo (FIGURA 11a), a porca e a placa de apoio permitem a aplicação de uma pequena carga de incorporação, que serve para garantir o contato solo-concreto projetado, precaução importante no caso de muros com paramento vertical. O segundo tipo (FIGURA 11b), empregado em taludes inclinados, a extremidade do grampo é dobrada para a fixação ao revestimento, sendo o mais indicado para aplicação nos trilhos ferroviários. O lançamento do concreto projetado tem com finalidade a proteção dos grampos para os efeitos da corrosão provocada por sua exposição ao meio ambiente.

FIGURA 11 – TIPOS DE CABEÇA DE GRAMPOS



FONTE: Ortigão e outros, 1993.

QUADRO 2 – ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO COM GRAMPOS INJETADOS

Item	Descrição
Limpeza do furo	Em solos secos é realizada a seco e com ar comprimido, durante a perfuração. Em solos úmidos, o equipamento de perfuração deve utilizar água ou outro fluido na lavagem.
Aditivos	O expansor de calda de cimento é um aditivo que evita a retração e, conseqüentemente, a diminuição do atrito solo-grampo. Outro aditivo recomendado é o acelerador de cura, que reduz os prazos de execução do reforço.
Tubo lateral de injeção	Deve ser obrigatório especialmente em grampos longos ($L > 3\text{m}$), para garantir o preenchimento adequado do furo.
Espaçadores ou Centralizadores	Os espaçadores podem ser fabricados na própria obra com tubos de PVC e instalados a cada 3 m ao longo da barra de aço, garantindo a sua centralização no furo.

FONTE: Adaptado de Ortigão, 1997.

TÉCNICA DO GRAMPO CRAVADO

Os grampos podem resultar da cravação direta do trilho a qual pode ser feita manualmente ou com equipamentos mecânicos.

A técnica consiste na cravação, por percussão, do elemento resistente. Por meio de uma pressão de injeção elevada (superior a 20 MPa), o solo à frente da ponta é destruído, facilitando a cravação do trilho. Este processo é comumente utilizado em obras provisórias, em virtude da livre exposição dos reforços à corrosão. Neste método, utilizam-se barras mais curtas e menos resistentes, com espaçamento reduzido entre elas. Este processo é contraindicado para solos muito rijos, pois o esforço de cravação é muito grande, e também para solos muito moles ou fofos, devido à destruição da estrutura do material em volta do grampo, que ocasiona diminuição do atrito entre o solo e o reforço.

O trilho também pode ser introduzido no solo “a fogo”, utilizando-se um equipamento a ar comprimido a altas pressões, que injeta o trilho para o interior do maciço a grandes velocidades. Contudo, esta técnica tem restrições quanto ao comprimento (aproximadamente até 10 m) e

diâmetro (25 a 38 mm) dos grampos, além de exigir equipamento especial para a sua execução.

PROTEÇÃO DA FACE DA ESCAVAÇÃO

Após a introdução dos trilhos, deve-se executar a proteção da face do maciço, a fim de que a mesma não sofra processos de rupturas localizadas e de erosão superficial, causados principalmente pela ação da chuva e outras intempéries naturais.

Em solos, a proteção é geralmente executada por meio de jateamento de concreto sobre uma malha metálica, com espessura entre 5 cm e 15 cm e com armadura suficiente para resistir à tração gerada pela dilatação térmica do próprio concreto. Na ausência de tela metálica, pode ser projetado concreto reforçado com fibras metálicas.

O concreto projetado é aplicado em todo o talude, obtendo-se uma superfície protetora com boa resistência à erosão e grande durabilidade. Pode-se utilizar a aplicação por via seca ou úmida. Em obras de menor porte, como é o caso da maioria das obras de contenção, emprega-se o concreto por via seca, em face da extrema praticidade de aplicação.

No caso do processo por via seca, o controle do volume de água adicionado é regulado pelo operador ao final do mangote, diretamente no bico de projeção. Já no caso da projeção por via úmida, o concreto já entra na bomba devidamente dosado e no bico de projeção é injetado ar comprimido para o seu lançamento. Neste caso o concreto projetado é de maior qualidade e homogeneidade.

GEOMETRIA DOS TRILHOS

Como regra geral, os grampos são dispostos em linhas, suavemente inclinados em relação à horizontal. Entretanto, os grampos são mais eficientes no controle de deslocamentos laterais da estrutura quando instalados na horizontal.

Na prática, a tecnologia de instalação dos grampos permite que se adote ângulos de inclinação variando de 5° a 15°.

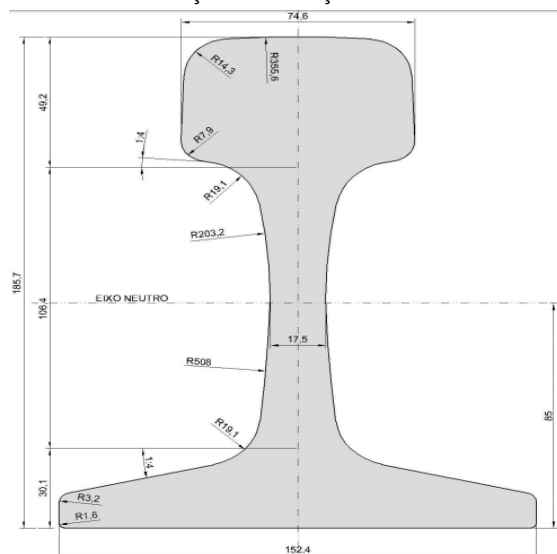
O Quadro 3 apresenta valores típicos de parâmetros geométricos e características de trilhos.

QUADRO 3 – CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE CERTOS TIPOS DE TRILHO

Tipos de Trilhos	Dimensões								
	H (Altura do Trilho)			L (Largura do Patim)			C (Curvatura do Boleto)		
	Nominal	Máximo	Mínimo	Nominal	Máximo	Mínimo	Nominal	Máximo	Mínimo
TR 37	122,2	123,2	121,7	122,2	123,2	121,2	62,7	63,2	62,2
TR 45	142,9	143,9	142,4	130,2	131,2	129,2	66,1	65,6	64,6
TR 50	152,4	153,4	151,9	136,5	137,5	135,5	68,3	68,8	67,8
TR 57	168,3	169,3	167,8	139,7	140,7	138,7	69	69,5	68,5
UIC 60	172	172,6	171,4	150	151	149	72	72,5	71,5
TR 68	185,7	186,7	185,2	152,4	153,4	151,4	74,6	75,1	74,1

FONTE: DNIT, 2016.

FIGURA 12 - EXEMPLIFICAÇÃO DE SEÇÃO TRANSVERSAL (TR 68)



FONTE: DNIT, 2016.

QUADRO 4 - MOMENTO DE INÉRCIA PARA OS TIPOS DE TRILHOS

Tipos de Trilhos	Momento de Inércia (cm ⁴)
TR 37	951,5
TR 45	1610,8
TR 50	2039,5
TR57	2730,5
UIC 60	3055,0
TR 68	3850,1

FORNE: DNIT, 2016.

Com base na análise do momento de inércia da seção transversal, recomenda-se a cravação do trilho na posição exemplificada na Figura 12, pois a cravação do trilho com o seu momento de inércia maior na direção perpendicular à movimentação esperada da encosta ou talude garante maior estabilidade do maciço.

Para determinado grampo, recomenda-se a utilização conjunta de, no máximo, 3 trilhos (os quais possuem 6 metros de comprimento). Os mesmos devem ser soldados *in loco*.

Para a introdução do trilho no maciço, por forma a um maior rendimento do material, recomenda-se o corte deste a meia seção, diminuindo sua seção transversal, o que também acarreta em uma diminuição de peso dos elementos no maciço. Porém, os trilhos cortados apresentam maior susceptibilidade aos processos corrosivos, uma vez que diminuirá a sua seção de sacrifício.

CUIDADO! O trilho não deve perder suas características de resistência ao longo do tempo. Desta forma, para uma melhor durabilidade dos elementos, recomenda-se receber tratamento anticorrosivo adequado, usualmente por meio de resinas epóxicas ou proteção eletrolítica. No caso do grampo injetado, a própria camada de cimento (de pelo menos 20 mm) fornece uma proteção considerável aos materiais.

O comprimento e espaçamento destes grampos é fortemente influenciado pelas características topográficas e geomecânicas da região, pelo que se recomenda a execução de sondagens para aferição

destas características. Na falta de projeto ou ensaios que contenham as características topográficas e geomecânicas do local a ser executado o solo grampeado, recomenda-se que o espaçamento entre eles, na área a ser reforçada, não seja superior a 2 m. Reforçamos que deverá ser consultado um Engenheiro Geotécnico para a melhor definição destas profundidades e espaçamentos.

DRENAGEM

Um sistema de drenagem adequado deve prevenir a geração de poropressões, além de proteger a face contra a deterioração causada pela água.

É vital que a estrutura esteja protegida contra infiltração de água, que pode causar deslizamento ou ruptura do solo. A água pode também induzir uma rápida redução na resistência da estrutura, por meio da corrosão dos trilhos, especialmente quando a água contiver substâncias corrosivas.

Para proteger a estrutura contra os efeitos nocivos da água, algumas medidas preventivas devem ser tomadas. Além da argamassa envolvendo o elemento metálico, a prática usual recomenda também a execução dos convencionais serviços de drenagem profunda e de superfície.

No caso de drenagem profunda, recomenda-se drenos sub-horizontais, executados com tubos plásticos drenantes, de diâmetro variando entre 40 e 50 mm, em perfurações no solo de 60 a 100 mm de diâmetro (FIGURA 13). O comprimento dos drenos deve ser maior que o dos trilhos, sendo o espaçamento dependente das condições locais. Na prática, os drenos profundos têm uma vida útil relativamente limitada, em face da ocorrência de processos de colmatação ao longo do tempo. Assim sendo, este tipo de drenagem é mais recomendado para obras temporárias. Entretanto, é utilizado em obras permanentes, desde que garantidas as operações de manutenção.

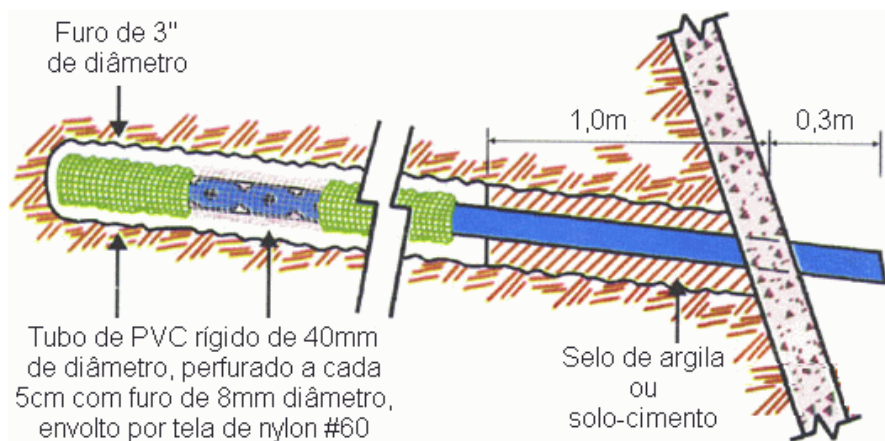
Para os drenos de sub-superfície, recomenda-se a instalação de barbacãs na face do talude, além de drenos verticais, atrás da parede de concreto projetado.

O dreno tipo barbacã é executado escavando-se uma cavidade com cerca de 40 x 40 x 40 cm, a qual é preenchida com material arenoso. A ligação entre a cavidade com areia e a atmosfera é realizada por meio de um tubo de PVC perfurado, encoberto com tela de nylon ou geotêxtil drenante, com inclinação decrescente (FIGURA 14).

O dreno vertical atrás da parede pode ser executado a partir da instalação de calha plástica revestida por manta geotêxtil numa escavação de 10 x 30 cm, na direção vertical da crista até o pé do talude (FIGURA 14). A água coletada neste dreno é recolhida em uma canaleta instalada no pé da escavação.

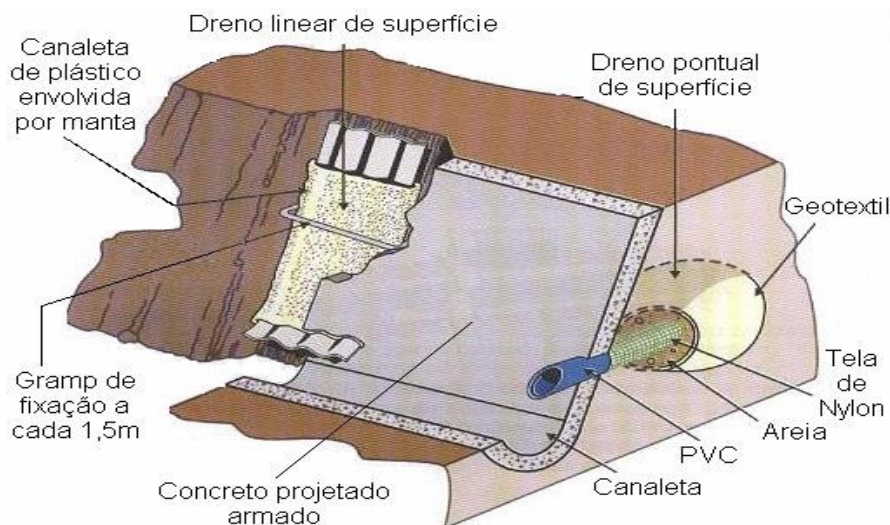
O dimensionamento dos drenos, sub-superficiais ou profundos, deverá ser feito de acordo com a geomorfologia e volume de água a ser escoado, pelo que se recomendam ensaios ou observações de campo por parte de um Engenheiro Geotécnico.

FIGURA 13 – DETALHE DE DRENO PROFUNDO



FONTE: ABMS / ABEF, 1999.

FIGURA 14 – DETALHE DOS DRENOS TIPO BARBACÃ E DE PARAMENTO



FONTE: ABMS / ABEF, 1999.

MURO GABIÃO

Material a ser utilizado:

- Lastro (75 mm à 125 mm).

Os muros de gabião (QUADRO 5) são constituídos por gaiolas metálicas preenchidas com pedras arrumadas manualmente e construídas com fios de aço galvanizado em malha hexagonal com dupla torção.

As dimensões usuais das gaiolas do gabião são: comprimento de 2 m e seção transversal quadrada com 1 m de aresta. No caso de muros de grande altura, gabiões mais baixos (altura de 0,5 m), que apresentam maior rigidez e resistência, devem ser posicionados nas camadas inferiores, onde as tensões de compressão são mais significativas. Para muros muito longos, gaiolas com comprimento de até 4 m podem ser utilizados para agilizar a construção.

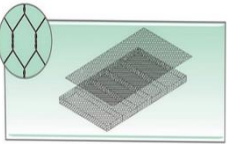
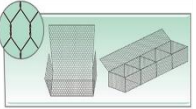
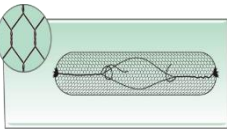
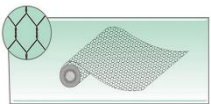
Esse tipo de muro é composto por uma grande estrutura de pedra. As pedras são colocadas em gaiolas de arame/aço recozido e galvanizado (telas de aço) e empilhadas conforme o projeto de contenção. Os muros de gabião são estruturas de contenção que resistem aos esforços por meio do seu peso (muros de gravidade), por isso, são estruturas de grandes dimensões.

São estruturas armadas, monolíticas e permeáveis, utilizadas para construção de muros de arrimo, aumentando a resistência do talude a empuxos provenientes de solo ou água. Também são indicadas para revestimento superficial de canais.

As caixas são colocadas lado a lado, costuradas entre si com fios de aço (permite movimentações, flexibilidade) para tornar a estrutura monolítica e preenchida por brita tipo rachão.

A rede metálica que compõe os gabiões apresenta resistência mecânica elevada. No caso da ruptura de um dos arames, a dupla torção dos elementos preserva a forma e a flexibilidade da malha, absorvendo as deformações excessivas. O arame dos gabiões é protegido por uma galvanização dupla e, em alguns casos, por revestimento com uma camada de PVC. Esta proteção é eficiente contra a ação das intempéries e de águas e solos agressivos. As principais características dos muros de gabião são a flexibilidade, que permite que a estrutura se acomode a recalques diferenciais e a permeabilidade.

QUADRO 5 – TIPOS DE MURO GABIÃO EXISTENTES

TIPO	FORMATO	TELA	UTILIZAÇÃO	IMAGENS
Colchão	Paralelepípedo 	Mesma tela de aço do gabião tipo caixa e também pode conter parede diafragma em seu interior	Obras hidráulicas (revestimento de canais, escadas dissipadoras, barragens de terra). Não é recomendado em casos em que a ferrovia se localiza no mesmo nível do pé do talude.	
Caixa	Prisma retangular 	Tela de aço: fundo, tampa e paredes. Conforme o comprimento pode ser necessário paredes internas	Construção de canalizações, muros de barragem e de contenção. Preenchimento com pedras de mão.	
Saco	Cilíndrico 	Uma única tela de aço que é enrolada, preenchida com pedras e amarrada nas extremidades	Fundação para o gabião tipo caixa; obras emergenciais, hidráulicas ou submersas. Para o reforço das extremidades é passado um fio de diâmetro maior do que o utilizado na malha alternadamente.	
Tela	Tela 	Uma única tela metálica hexagonal dupla torção	Barreiras contra queda de rochas. Permite o crescimento de vegetação e animais em suas frestas.	

Fonte: Os Autores, 2017.

ETAPAS DE EXECUÇÃO

1. Serviços iniciais de terraplenagem, com definição da cota de apoio do muro, travamento das fundações, taludes provisórios a montante do muro e eventuais execuções de drenos;
2. Fornecimento, montagem e preenchimento das caixas com instalação da manta geotêxtil;
3. Reaterro compactado da região a montante do muro;
4. Obras de drenagem e proteção superficial.

Os gabiões do tipo caixa devem ser entregues pelas fábricas no local das obras, dobrados e reunidos em pacotes. Na obra, as caixas dos gabiões devem ser abertas e montadas, costuradas pelas arestas e fixados os diafragmas às paredes laterais. Os fios devem ser metálicos, com comprimento não superior a 10 cm e dotado de um elemento de proteção (plástico ou borracha) que impeça o dano ao revestimento de PVC da malha hexagonal.

Agrupam-se mais gabiões vazios, lado a lado e sucessivamente, amarrados àqueles vizinhos pelas arestas, formando uma estrutura contínua no sentido horizontal, antes do enchimento. Procede-se o enchimento do gabião caixa frontal com a pedra de mão, o qual é efetuado manualmente ou com qualquer meio mecânico, utilizando-se pedras de porte maior ou ligeiramente superiores à da malha de modo a obter a mínima porcentagem de vazios.

Para garantir o alinhamento, é exigido o uso de uma forma descontínua (grelha) na face frontal durante o enchimento. No interior dos gabiões, os tirantes são inseridos durante o enchimento para tornar as paredes opostas sólidas entre si. Isto facilita o alinhamento das paredes à vista na obra e evita a deformação dos gabiões durante o enchimento.

São previstos tirantes com espaçamento horizontal de 50 cm (entre a face e o diafragma) e com espaçamento vertical de 33 cm (nos terços da altura). O fio adotado para os tirantes, bem como, aquele adotado

para as amarrações apresenta as mesmas características do fio dos gabiões.

Durante a montagem e nas operações para a amarração, é necessário utilizar pinças com pontas alongadas e de superfície lisa, pois o revestimento plástico não deve ser danificado. Após o enchimento, a tampa do elemento pode ser fechada e costurada. Realizado o enchimento com pedra de mão, coloca-se o filtro de geotêxtil na face anterior quando o reaterro estrutural for de solo. A extremidade de ancoragem do geotêxtil repousa, temporariamente, sobre o gabião caixa.

O aterro estrutural deverá ser realizado em camadas com espessura máxima de 20 cm. A sequência de compactação é descrita em especificação pertinente, mas, para cada camada, são recomendáveis o nivelamento da camada com trator de esteiras e a densificação efetiva com compactador de percussão mecânico (sapo) até 1 m de distância do gabião caixa e o restante com rolo pé-de-carneiro.

CARACTERÍSTICAS A SEREM VERIFICADAS NA EXECUÇÃO

- Durante a execução, a montagem e as amarrações devem ser verificadas, bem como possíveis deformações do gabião;
- Certifique-se de que não há nenhuma pedra solta saindo pela malha;
- Confira se não há direcionamento hidráulico (em outras palavras, água) ao tardo do gabião (na face inferior, não exposta do muro);
- Telas e geotêxteis podem ficar expostos durante a execução.

FATORES RELEVANTES PARA SEU BOM DESEMPENHO

- Observações Preliminares ao projeto:
 - Prospecção e análise do solo que compõe as fundações do muro e será usado para reaterro.

- Definir Propriedades:
 - Compactação: realizá-la de forma condizente com o projeto para não induzir esforços não previstos;
 - Resistência ao cisalhamento.
- Estudo da Estabilidade (NBR 11.682 - Estabilidade de Encostas):
 - Tombamento;
 - Translação;
 - Ruptura Global;
 - Capacidade de carga da fundação.
- Verificar tensões máximas e mínimas nas bordas da base do muro.

As dimensões dos muros de gabião são totalmente variáveis e dependem das características e do tipo de estrutura a conter, pelo que é recomendada a consulta a um Engenheiro Geotécnico.

CHAVE GRANULAR DRENANTE

Material a ser utilizado:

- *Lastro (75 mm à 125 mm)*

A Chave Granular é uma estrutura para reforço e contenção de encostas, executada principalmente com material britado. Consiste na escavação de uma cava que em seguida será preenchida por brita de diversos tamanhos, realizando assim o travamento da superfície de deslizamento.

A colocação do material britado é o simples ato de lançamento de uma seleção de material pétreo, normalmente em cavas, leitos ou valas, onde o efeito de confinamento dispensa a compactação, sendo necessário apenas a passagem com a própria esteira do equipamento de escavação.

AGREGADO RACHÃO OU PEDRA DE MÃO

Deverão ser atendidas as seguintes condições gerais para o agregado rachão ou pedra de mão: deverão ser constituídos de fragmentos tenazes, não friável, limpos de argilas ou outros contaminantes, sem nenhum grau de alteração, pouco lamelares ou alongadas.

A lamelaridade deve ser inferior a 20%. Já o desgaste no ensaio de Abrasão Los Angeles não deverá ser superior a 50%, além de deverem apresentar tensão de ruptura superior a 100 Mpa.

O diâmetro máximo recomendado deverá estar compreendido entre $1/3$ e $2/3$ da espessura final de camada individual executada, não devendo superar a 200 mm. Enquanto que o diâmetro mínimo recomendado deve ser de 50 mm.

PEDRA BRITADA DE PREENCHIMENTO

A pedra britada de preenchimento deverá ser utilizada nas seguintes situações: nos aterros de enrocamento a serem compactados, sendo utilizado como material de preenchimento de vazios nas camadas finais, ou de regularização para assentamento. Neste caso poderá ser exigida camada compactada indicada em projeto. Como material drenante nos fundos de cavas preenchidas com rachão ou no contato direto com solos. Nesta última ocasião, o material deve ser antecedido de uma zona filtrante de granulometria britada mais fina (somente pedrisco) em espessuras não inferiores a 30 cm ou através de geotêxteis.

Todos os materiais britados (rachão ou britas) deve apresentar no máximo 2% de material pulverizado, podendo ser necessário serem lavados.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

A execução da chave granular inicia-se pelo carregamento do material nos depósitos ou pátios de estocagem da instalação de britagem. A operação de carga do material deverá ser procedida de forma criteriosa.

Anterior ao lançamento do rachão deve-se verificar se a cava está envelopada com geotêxtil, quando este envelope é especificado, e a existência de tubos perfurados e corrugados no fundo da cava. Se especificado estes tubos em projeto, previamente à instalação destes deve-se executar uma camada de proteção. Para isso, lança-se uma camada de pelo menos 5 cm no fundo da cava com material britado fino (pedrisco). Após, instala-se o tubo e preenche-se a vala com material britado de dimensão inferior a brita 2 até o cobrimento total do tubo. Finalizado o leito de proteção do tubo, o lançamento de camadas sucessivas de rachão poderá ser através do tombo direto do caminhão basculante quando não especificado o envelopamento. No entanto, quando especificado envelopamento da chave com geotêxtil, o material deve ser colocado no fundo através da concha da retroescavadeira ou escavadeira hidráulica evitando que o geotêxtil seja danificado.

Finalizado o lançamento do material de preenchimento, executa-se uma última camada composta por brita 2 a pedrisco com espessura de 10 cm. Esta camada de material mais fino servirá como plataforma de trabalho e base de assentamento.

EXECUÇÃO DO PREENCHIMENTO E CAMADAS DE DRENOS

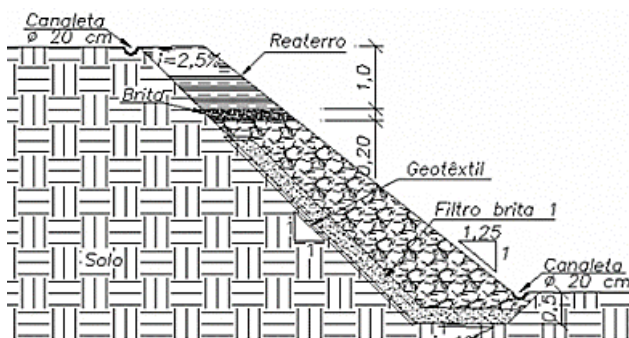
Caso não seja necessário ou desejada a elevação da chave granular até a crista do talude, camadas de preenchimento com solo deverão ser realizadas. A execução das camadas de preenchimento e drenos de contato também inicia pelo carregamento do material nos depósitos ou pátios de estocagem da instalação de britagem.

Nas camadas finais de aterro em plataformas, após a operação de carregamento e o transporte por meio de caminhões basculantes, faz-se o espalhamento em uma camada de espessura homogênea, uniformemente solta. Efetuadas as correções necessárias de regularização, e previamente ao lançamento do material de enchimento, poderá ser obtida uma melhor acomodação da camada final através de compressão com rolo liso sem vibração.

A execução de camadas de preenchimento deve ser realizada para o assentamento da estrutura de contenção após a finalização de leitos ou chave granular. Também, esta camada é executada logo acima da última camada de aterro de rachão, em especial, quando sobrejacente a esta, será executado aterro de solo. A aplicação do material de enchimento deverá ser feita em uma ou mais vezes, até se obter um bom preenchimento, evitando-se o excesso superficial.

As dimensões da chave granular são fortemente dependes das condições geotécnicas e topográficas locais, pelo que é recomendada a consulta a um Engenheiro Geotécnico para auxílio no seu dimensionamento e execução.

FIGURA 15 – EXEMPLO DE CHAVE GRANULAR



FONTE: FGS Geotecnia, 2009.

REFORÇO DE SOLOS MOLES E TALUDES DE POUCA INCLINAÇÃO

Materiais a serem utilizados:

- *Trilhos*
- *Dormentes*

Esta técnica trata-se de uma medida provisória e emergencial de reforço de taludes e de solos moles em áreas instáveis. Consiste na simples cravação de trilhos nas áreas de instabilidade.

Pode ser utilizada para reforço de solos e de locais onde já houve algum tipo de movimentação de massa menos expressiva e que possuem algum histórico de deslizamentos.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

Reforço de taludes:

Deve ser realizada a cravação de trilhos ao longo do talude, em um modelo simplificado de solo grampeado (FIGURA 16).

Os trilhos podem ser cortados ao meio a fim de aumentar a quantidade de grampos disponíveis e de diminuir o peso do elemento (FIGURA 17).

Deve-se ressaltar que os trilhos cravados estarão sujeitos à processos de corrosão, que podem diminuir suas propriedades mecânicas.

Reforço de solos moles:

Para o reforço de solos deve ser feita a cravação de trilhos ou dormentes soldados, orientados verticalmente ao plano da superfície (FIGURA 16).

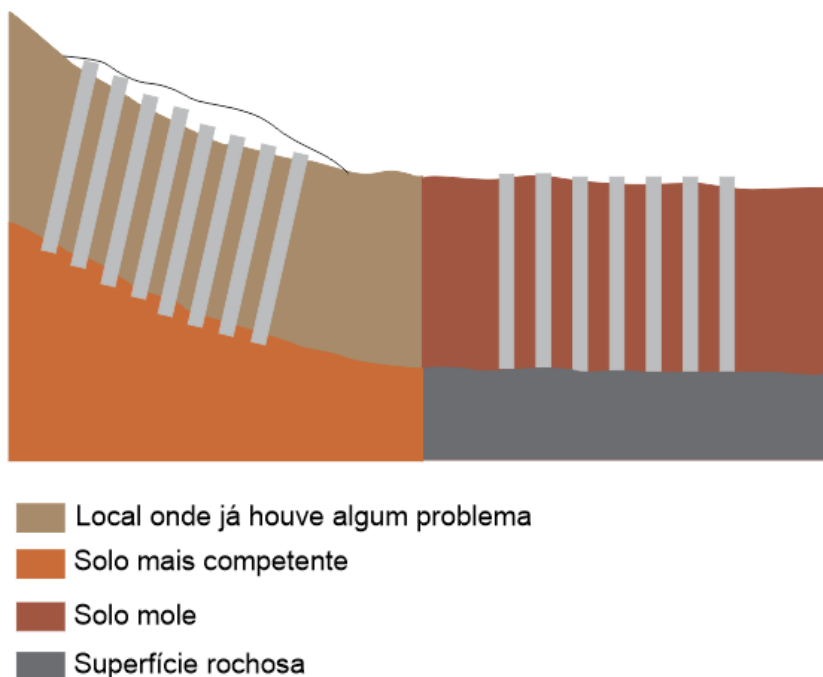
Essa técnica é recomendada para locais planos e próximos ao eixo ferroviário que podem estar apresentando sinais de instabilidade.

O cravamento de dormentes é recomendado apenas para o reforço de solos em locais que apresentam certa horizontalidade, uma vez que

o peso de um elemento soldado desse material seria prejudicial se cravado em estruturas que apresentam certa declividade.

A profundidade e a amplitude destes elementos de reforço são dependentes das condições geomorfológicas locais, pelo que se recomenda a consulta a um Engenheiro Geotécnico, assim como a realização de ensaios de caracterização, por forma a se obter a espessura da camada a ser reforçada. Na falta destes ensaios, os elementos de reforço devem ser cravados até encontrar uma superfície rochosa ou de solo mais competente, onde se torne difícil ou impossível a cravação destes elementos.

FIGURA 16 – EXEMPLO DE REFORÇO



FONTE: Os Autores, 2017.

FIGURA 17 – SUGESTÃO DE CONFIGURAÇÃO DOS ELEMENTOS DE CRAVAÇÃO



FONTE: Os Autores, 2017

BARREIRA

Materiais a serem utilizados:

- *Trilhos*
- *Dormentes*

Locais que apresentam a possibilidade de quedas de blocos, desprendimento ou rolamento de rochas e pequenas erosões ou movimentos de massa podem ser estabilizados com soluções mais simplificadas. Uma opção é a criação de uma cortina de contenção temporária ao pé do talude.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

Essa estrutura pode ser realizada pela simples cravação vertical de trilhos ou dormentes, dispostos lado a lado, ou pela colocação de trilhos espaçados para a inserção de dormentes entre eles.

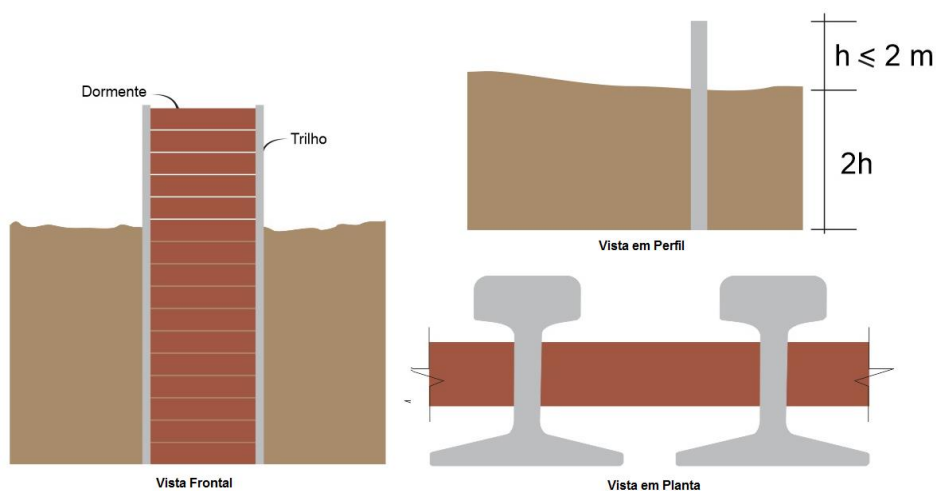
Essa última, trata-se da fixação de trilhos verticalmente sendo “amarrados” por dormentes de madeira horizontalmente, de maneira a

construir uma barreira ao deslizamento no pé do talude, ao longo de toda a extensão. Para sua fixação, os dormentes podem ser soldados, parafusados ou simplesmente encaixados nos trilhos.

Recomenda-se que a altura máxima da contenção (h) seja de até 2 m. Além disso, a cravação dos elementos no solo deve ser de duas vezes a altura adotada ($2h$).

Esse tipo de barreira pode ser distribuída sequencialmente da área a ser contida, perfazendo uma linha de contenção (FIGURA 18).

FIGURA 18 – EXEMPLO DE BARREIRA EM TRÊS VISTAS



FONTE: Os Autores, 2017.

ESTABILIZAÇÃO DE BLOCOS EM RISCO DE QUEDA

Material a ser utilizado:

- *Trilhos*

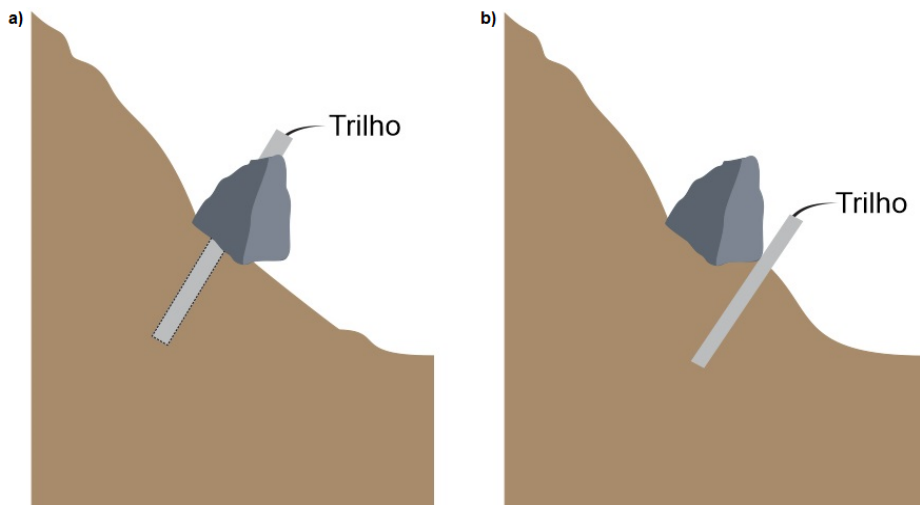
Esta técnica consiste em uma medida provisória e emergencial de contenção de blocos com risco de deslizamento em taludes.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

Blocos de rocha que apresentam a possibilidade de desprendimento podem ser chumbados novamente ao maciço por meio da perfuração e cravação de trilhos através (FIGURA 19a) ou abaixo destes (FIGURA 19b), técnica geralmente utilizada para rochas com pesos menores.

O trilho, ao ser cravado através do bloco e para dentro do maciço, realiza a ancoragem desses dois elementos, reforçando sua ligação e assim, evitando possíveis quedas.

FIGURA 19 – EXEMPLOS DE EXECUÇÃO



FONTE: Os Autores, 2017.

BANQUETAS VEGETADAS

Materiais a serem utilizados:

- *Estacas vivas de espécies nativas com capacidade de reprodução vegetativa e que sejam nativas da região para evitar que plantas exóticas prejudiquem a fauna e a flora da região. Mudanças de plantas também podem ser utilizadas;*
- *Estacas de madeira;*

- *Biorretentores de sedimento ou feixes vivos ou mortos.*

APLICAÇÕES

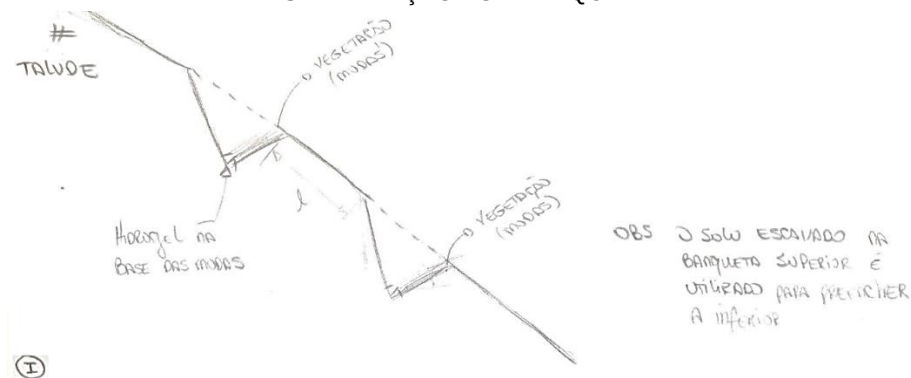
Trata-se de uma técnica de estabilização para contenção de taludes, age como redutor de velocidade de escoamento superficial, também promove a sedimentação do solo degradado, amenizando movimentos de massa. Portanto, é aplicado em taludes com problemas de movimentos de solo e erosão, de tal forma que a profundidade danificada não ultrapasse 1,5 m. Podem ainda ser utilizadas como complemento de obras de estabilização de Engenharia Natural ou tradicional tais como: na crista de paredes krainer, muros de arrimo e terra reforçada.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

A construção de uma banquetta consiste em escavar degraus em linhas longitudinais separados por uma distância horizontal a ser determinada de modo que não haja erosão linear ou laminar. A técnica deve ser construída a partir da parte inferior do talude e subindo.

1. Os degraus são construídos a partir da escavação de uma faixa perpendicular a parte de maior inclinação do talude (FIGURA 19). A profundidade escavada deve variar no intervalo fechado [0,5 ; 1,5] m com inclinação máxima de 10 graus.

FIGURA 20 – VISTA DE CORTE TRANSVERSAL DE UM TALUDE COM TÉCNICA DE ESTABILIZAÇÃO POR BANQUETA.



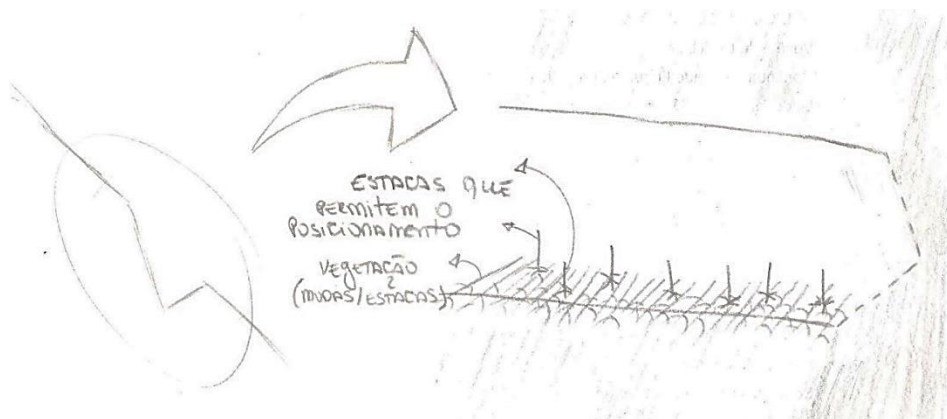
FONTE: Os Autores, 2017.

2. As mudas e/ou estacas de plantas devem ser colocadas na vala (FIGURA 20). Estacas devem ser posicionadas sobre as banquetas para permitir a ancoragem das mesmas (FIGURA 21).

FIGURA 21 – POSICIONAMENTO DE ESTACAS/MUDAS DE PLANTAS NUMA BANQUETA.



FIGURA 22 – PROCESSO DE ESTAQUEAMENTO DA VEGETAÇÃO



FONTE: Os Autores, 2017.

3. Em seguida segue-se para a construção da próxima vala com a distância variável no intervalo $[1,5 ; 3,0]$ m, utilizando o solo da superior para preencher a anterior. O procedimento segue até a crista da encosta.

FIGURA 23 – TALUDE COM TÉCNICA DE ESTABILIZAÇÃO POR BANQUETA VIVA.



4. Acrescentar uma fileira de biorretentores ou feixes vivos/mortos que permitam o funcionamento das banquetas antes do pleno desenvolvimento da vegetação implantada.

BOAS PRÁTICAS – DICAS

- A utilização de hidrogel é indicado para regiões de seca ou solos com baixa permeabilidade, o material auxilia na captação de recursos hídricos e garante melhor aproveitamento das estacas plantadas;
- A escolha da planta é primordial para o sucesso da técnica, devem ser arbustos dispostos a 10 cm além da raiz para garantir o desenvolvimento das plantas (FIGURA 23);
- Devem ser utilizadas grandes quantidade de mudas nas banquetas pois como se trata de uma técnica de estabilização com materiais vivos, corre o risco de algumas mudas não germinarem e também o fato de serem nativas garante um aproveitamento melhor, pois há uma grande dificuldade em encontrar plantas que se adequem a determinadas situações climáticas;
- Adubação de acordo com fertilidade do solo do local de intervenção;
- Outra consideração importante é o tamanho das estacas vivas, que devem ser do tamanho suficiente para germinarem rápido e que compunham grande área do solo em que forem “sentadas”;
- Monitoramento regular da obra após a execução por alguns meses ou até a consolidação das plantas ficar evidente;

REQUISITOS E DIMENSIONAMENTO

- Para o dimensionamento deve-se levar em consideração elementos como características específicas do solo a partir de ensaios e equações que levarão em conta inclinação, fator de segurança, propriedades do solo, características das plantas e as condições climáticas da região;
- O espaçamento entre banquetas deve ser dimensionado de modo a não haver erosão laminar ou linear, podendo ser utilizada, para este fim, a equação universal de perda de solos;

- A fertilidade do solo deve ser verificada, caso necessário deve ser administrado fertilizantes próximos as raízes das mudas e bases das estacas vivas;
- Utilizar de 5 a 7 espécies diferentes para aumentar as chances de sucesso de estabilização da área;
- A granulometria do solo deve ser verificada de modo a permitir tanto a estabilidade da massa de solo superficial quanto a possibilidade de desenvolvimento do sistema radicular das plantas;
- A estabilidade geotécnica deve ser verificada.

CANALETAS VEGETADAS

Materiais a serem utilizados:

- *Lastro;*
- *Grelha metálica (tipo tela metálica);*
- *Vegetação (estacas, mudas ou sementes);*
- *Geotêxteis e geossintéticos.*

APLICAÇÕES

Utilizado para captação da água resultante do escoamento superficial ao longo de um talude, na crista ou no pé, podendo ser combinado com outros sistemas de drenagem.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

1. Escavar uma vala com altura de 0,75 a 1,5 m e largura que varia de acordo com o a vazão de projeto da canaleta;
2. Quando aplicada sobre um talude, a vala deve ser escavada em forma de uma escada (FIGURA 24) sendo feita de cima pra baixo. A princípio a escavação deve ser feita cerca de 0,5 m superior ao desejado para a disposição do lastro posteriormente;
3. Em seguida será disposta a manta geotêxtil e sobre ela a grelha metálica que deve ser disposta ao entorno da canaleta. Na sequência é feita a plantação da vegetação nas laterais, dentre os

vãos da grelha e da manta, é fundamental que sejam plantas que cresçam no máximo até o centro da canaleta, para que futuramente não interfira no fluxo da água. Caso sejam aplicadas sementes, a mesma deve ser feita apenas no fundo sob a manta;

FIGURA 24 – VISTA CANALETA VEGETADA COM GABINETE METÁLICO, VEGETAÇÃO E MANTA GEOTÊXTIL. TÉCNICA FEITA DO TIPO ESCADA.



Observação: o geotêxtil deve ser capaz de permitir que a vegetação cresça. Devem ser plantadas estacas de mudas de plantas do tipo arbusto, que não tenham a característica de crescimento alto. Para o plantio, perfurações na manta devem ser feitas, pode ser com a própria estaca do arbusto. Importante utilizar vegetação nativa para evitar problemas na fauna e flora da região.

4. Por fim, será utilizado o lastro lançado sobre o fundo da canaleta (FIGURA 25). A quantidade de lastro a ser utilizada depende do volume de água que está previsto para escoar, podendo variar entre 0,2 m a 0,5 m.

FIGURA 25 – CANALETA VEGETADA COM GEOGRELHA, MANTA GEOTÊXTEL, PEDRAS E VEGETAÇÃO.



BOAS PRÁTICAS – DICAS

- Importante utilizar uma manta perfurada como visto na Figura 19 para que o desenvolvimento da vegetação não seja prejudicado;
- Não plantar embaixo das pedras nem numa região próxima a elas, pois pode prejudicar o escoamento da água quando a vegetação estiver num estágio mais avançado. No caso de semeadura, o uso de braquiáreas ou leguminosas de caules flexíveis pode ser utilizado, pois permite o fluxo;
- Procurar por plantas com raízes profundas e que tenham característica de captação de água, para evitar encharcamento do solo caso haja uma vazão muito grande de água. Utilizar de 5 a 7 tipos de espécies diferentes para assegurar o sucesso da obra;
- Em caso de regiões de seca, utilizar hidrogel que auxilia na captação de água para o desenvolvimento da vegetação;
- A inclinação do fundo da canaleta deve ser limitada para evitar erosão no fundo da mesma;

- As paredes laterais podem ser cobertas com ramos e feixes vivos de espécies com capacidade de reprodução vegetativa;
- Caso o lastro tenha diâmetro menor que o mínimo necessário para resistir à vazão de projeto, podem-se utilizar estacas de madeira para criar degraus e modificar a inclinação do fundo da canaleta, reduzindo-se desse modo a velocidade do escoamento.

REQUISITOS E DIMENSIONAMENTO

- A vazão da água no local é fundamental para o dimensionamento da canaleta, por isso, além do estudo das propriedades do solo encontrado, deve-se ser feito um estudo do índice pluviométrico da região. Também considerar esse quesito para o percurso final da drenagem, seja em rios, lagos, estações de tratamento ou até mesmo um sistema próprio de armazenamento;
- Para o dimensionamento, também considerar o tamanho da vegetação que será utilizada, para não interferir no fluxo do percurso;
- Calcular o tamanho dos seixos de modo que não sejam levados pelo escoamento;
- Calcular inclinação da canaleta para evitar erosão do tipo linear e laminar;
- A granulometria do solo deve ser verificada de modo a permitir tanto a estabilidade da massa de solo superficial quanto a possibilidade de desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

CINTO BASAL SIMPLES

Materiais a serem utilizados:

- *Troncos de madeira (dormentes);*
- *Blocos de pedra existentes no leito da torrente (lastro).*

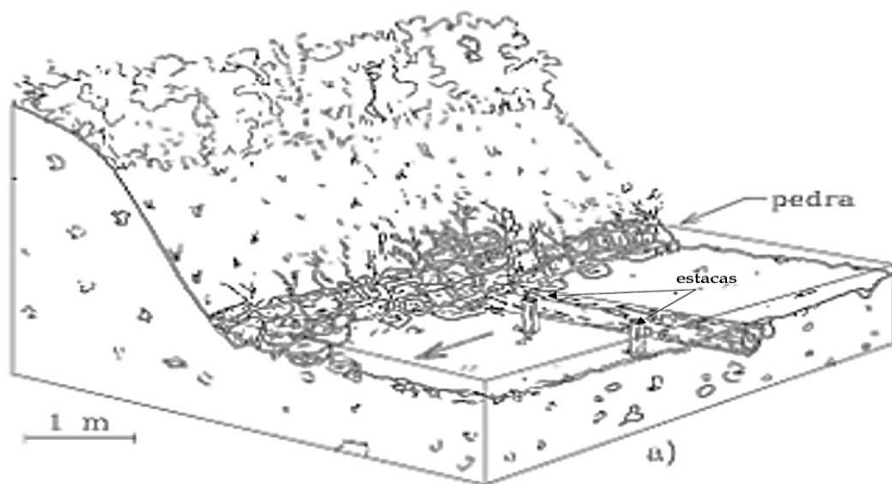
APLICAÇÕES

Impede que haja erosão no fundo do leito e permite a formação de um leito com inclinação definida pela torrente.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

Sua construção é bem simples, sendo necessário apenas dimensionar o espaçamento entre as estacas perpendiculares ao solo. As estacas serão cravadas no leito do rio conforme seus posicionamentos. Após isso, um tronco é posto transversalmente, apoiando-o nas estacas, como visto na Figura 26.

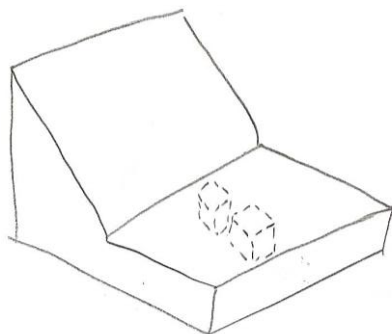
FIGURA 26 – CINTO BASAL SIMPLES



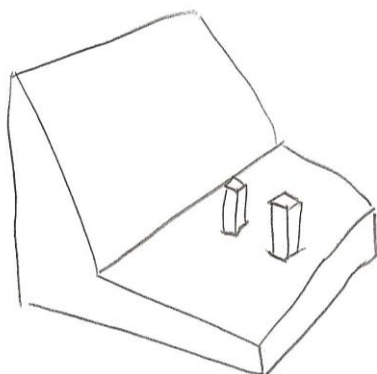
A sequência executiva é a seguir demonstrada com algumas imagens elaboradas pelos autores deste manual no presente ano (2017).

1. Drenar o rio na região que será feita a obra;
2. Colher e preparar as estacas;
3. Locar as posições das estacas;

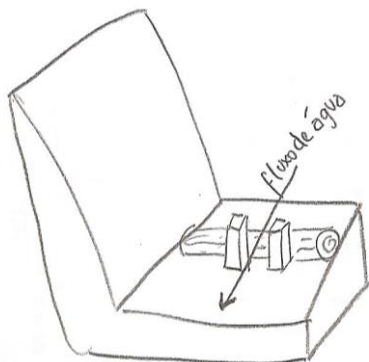
4. Escavar valas de aproximadamente 30 cm de profundidade onde as estacas serão colocadas;



5. Cravar as estacas nas devidas posições;



6. Posicionar o tronco atrás das estacas, no sentido do fluxo de água, para que não sejam levados;

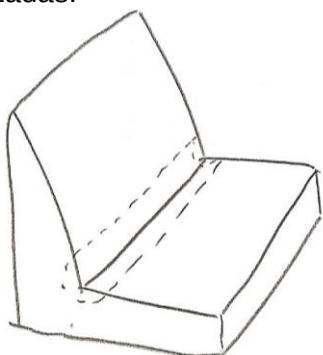


Podem ser feitos reforços laterais para evitar a corrosão de taludes fluviais, tais como asas presas ao cinto ou pedras encravadas na margem.

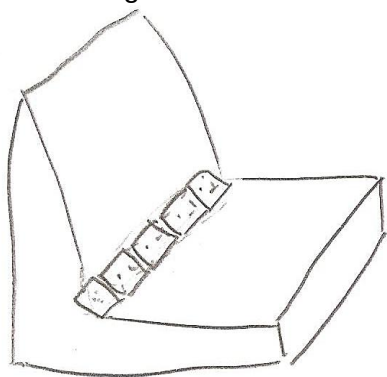
REFORÇO COM PEDRAS

A sequência executiva é a seguir demonstrada com algumas imagens elaboradas pelos autores deste manual no presente ano (2017).

1. Antes da construção do cinto, fazer uma vala do tamanho das pedras a serem utilizadas.



2. Posicionar as pedras na margem.

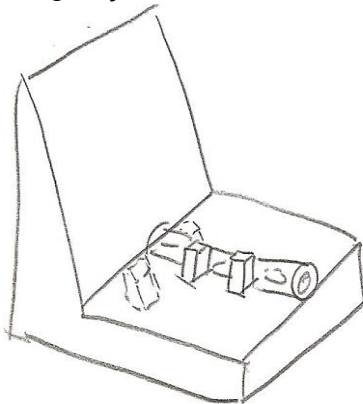


3. Fazer a construção normal do cinto.

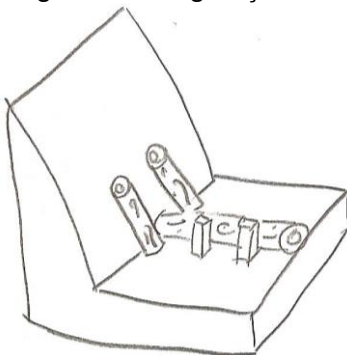
REFORÇO COM ASAS

A sequência executiva é a seguir demonstrada com algumas imagens elaboradas pelos autores deste manual no presente ano (2017).

1. Depois do cinto feito, fazer valas para as estacas próximas das margens, seguindo a angulação do talude fluvial.



2. Cravar as estacas, seguindo a angulação do talude.



BOAS PRÁTICAS – DICAS

- Fazer uma ponteira nas estacas para facilitar a fixação, em locais com leito muito resistente à cravação, é necessário colocar uma ponteira metálica para proteger a estaca durante a cravação;
- Preferir estacas de madeira da região (árvores caídas);
- Preferir pedras do próprio leito, escolhendo as maiores.

REQUISITOS E DIMENSIONAMENTO

- O diâmetro e comprimento dos troncos são escolhidos em função da largura e volume de água do rio.
- É necessário dimensionar a distância entre as estacas, ficando entre 50 a 80 cm.

CINTO BASAL COM DESNÍVEL

Materiais a serem utilizados:

- *Troncos de madeira (dormentes);*
- *Blocos de pedra existentes no leito da torrente (lastro).*

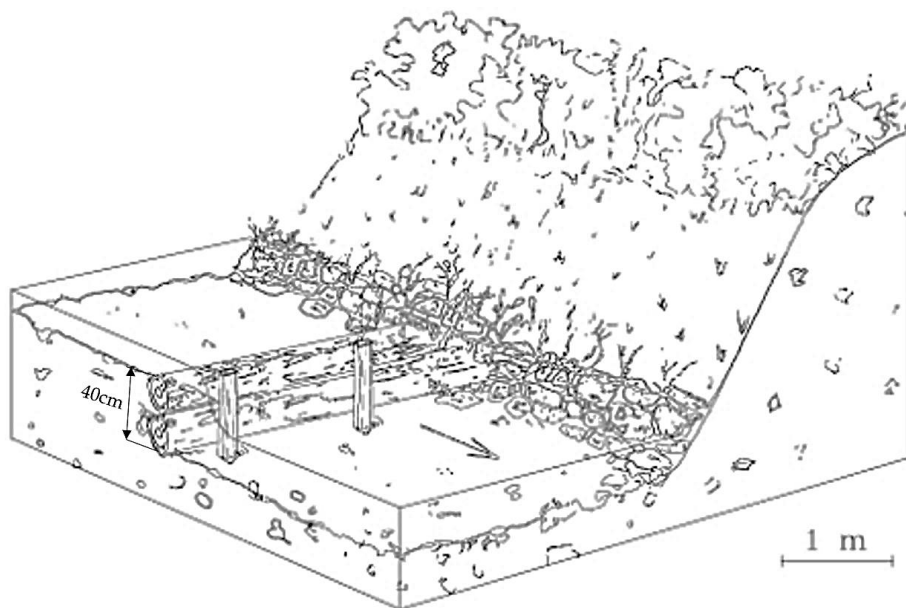
APLICAÇÕES

Impede que haja erosão no fundo do leito e permite a formação de um leito definido pela torrente.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

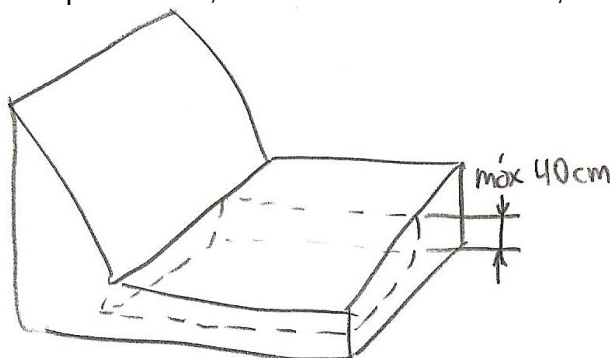
Sua construção é muito parecida com o do cinto basal simples, com a única diferença sendo a formação de um desnível, com uma queda menor ou igual a 40 cm, visto na Figura 27. É conveniente construí-lo em leitos de pouca declividade, com pequenos ressaltos e corredeiras naturais.

FIGURA 27 – CINTO BASAL COM DESNÍVEL

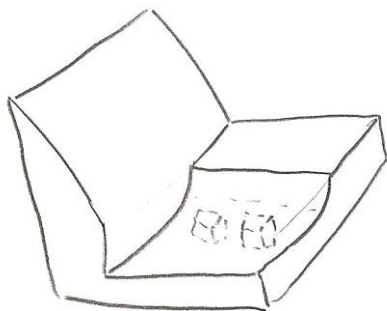


A sequência executiva é a seguir demonstrada com algumas imagens elaboradas pelos autores deste manual no presente ano (2017).

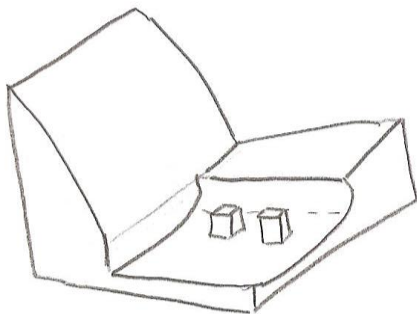
1. Drenar o rio na região que será feita a obra;
2. Colher e preparar as estacas;
3. Realizar um corte com aproximadamente 40 cm de profundidade no local por onde passa o rio, isso causará um desnível;



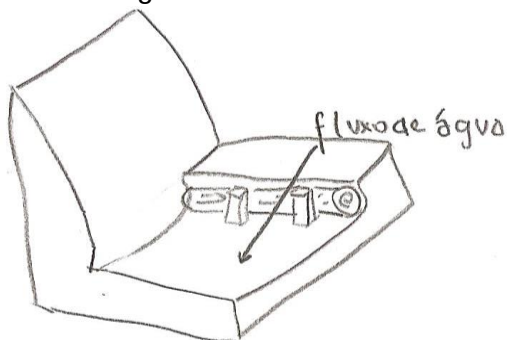
4. Perfurar o solo para colocação das estacas conforme dimensionado, distanciando as valas do talude o diâmetro do tronco que será posto a seguir;



5. Cravar as estacas nas devidas posições;



6. Posicionar os troncos atrás das estacas, de forma que não sejam levados pelo fluxo de água.



Coloca-se, na frente das estacas, rochas maiores, para evitar a erosão por escavo, causada pelo desnível.

BOAS PRÁTICAS – DICAS

- Fazer uma ponta nas estacas para facilitar a fixação;
- Preferir troncos da região;
- Preferir pedras do próprio leito, escolhendo as maiores.

REQUISITOS E DIMENSIONAMENTO

- O diâmetro e comprimento dos troncos são escolhidos em função da largura e volume de água do rio.
- É necessário dimensionar a distância entre as estacas, ficando entre 50 a 80 cm.

CINTO BASAL SALIENTE

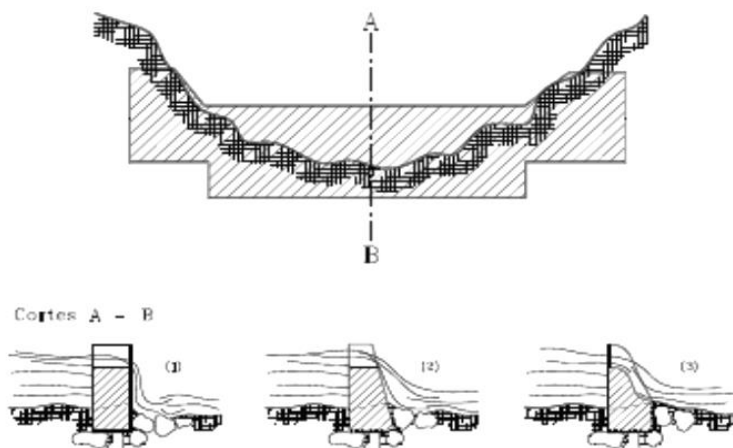
Materiais a serem utilizados:

- *Troncos de madeira (dormentes);*
- *Blocos de pedra existentes no leito da torrente (lastro).*

APLICAÇÕES

Impede que haja erosão no fundo do leito e permite a formação de um leito definido pela torrente.

FIGURA 28 – CINTO BASAL SALIENTE

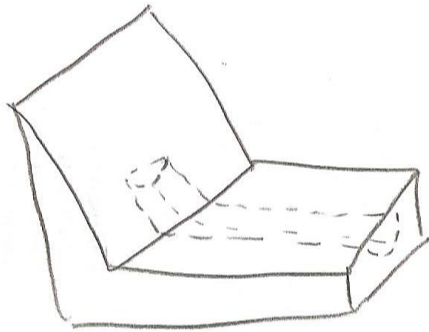


EXECUÇÃO DA TÉCNICA

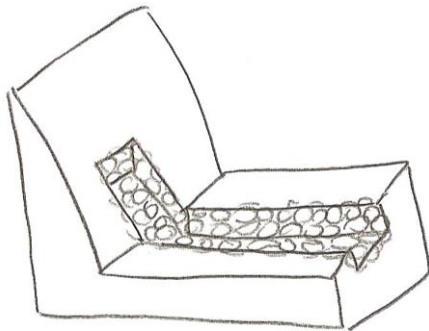
A execução dessa técnica é um pouco mais trabalhosa que as demais, sendo necessário abrir uma canaleta onde a estrutura será posta, colocando rochas ao fundo e ao redor para evitar a erosão a jusante, ou construindo um cinto basal simples logo em seguida, formando um colchão de água e amortecendo o impacto do fluxo.

A sequência executiva é a seguir demonstrada com algumas imagens elaboradas pelos autores deste manual no presente ano (2017).

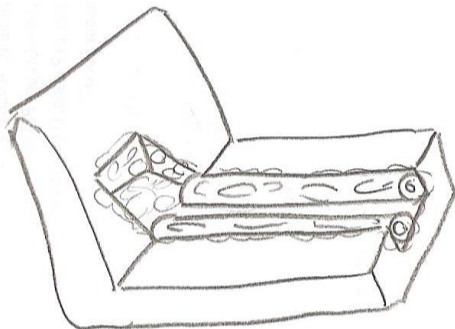
1. Abrir uma vala transversal ao leito do rio, dimensionada para caber uma camada de pedras e dois troncos. Cavar a vala até certa altura do talude fluvial;



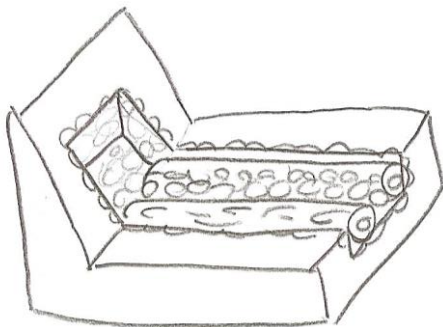
2. Cobrir com uma camada de pedras o fundo da vala, cravando-as à terra;



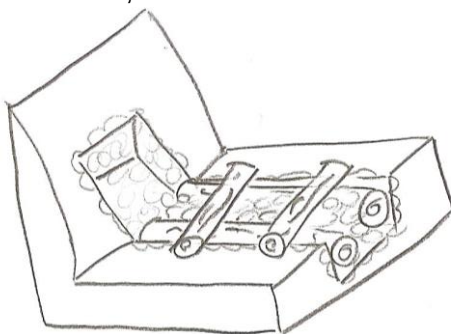
3. Fixar os troncos na vala, preenchendo o espaço entre eles com pedras;



4. Posicionar troncos menores no sentido do leito do rio, conforme dimensionamento;



5. Por troncos maiores por cima, na transversal, fixando-os na parte da vala escavada no talude;



6. Encher com pedras o espaço entre os troncos;
7. Repetir os procedimentos 4 ao 6 até chegar ao perfil escolhido, vide exemplo;
8. Fechar o topo da obra com troncos no sentido do leito.

BOAS PRÁTICAS – DICAS

- Preferir troncos da região;
- Preferir pedras do próprio leito, escolhendo as maiores.

REQUISITOS E DIMENSIONAMENTO

- O diâmetro dos troncos deve ser maior que 30 cm;
- A altura não deve ultrapassar 1,5 m.

ESTEIRAS VIVAS

Materiais a ser utilizados:

- Ramos com capacidade de propagação vegetativa;
- Hastes de madeira (dormente);
- Arame ou sisal;
- Lastro.

APLICAÇÕES

Técnica que consiste na colocação de feixes com capacidade de propagação vegetativa, fixadas por sisal ou arame conectando hastes de madeira com espaçamentos regulares.

Pode ser aplicada frente movimentos de massa, processos fluviais e erosão.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

1. Preparar o local, retirando grandes detritos e outros materiais;
2. Na parte inferior do talude devem ser fixadas estacas de madeira (dormentes), posicionadas a 90° da sua superfície, com espaçamento de 1 metro entre elas;
3. Acima da base fixar estacas com espaçamentos regulares de aproximadamente 1 metro, elas devem formar 45° com a superfície superior do talude;
4. Após concluídos os passos anteriores, colocar os ramos no sentido da inclinação do talude, a sua base deve estar em contato com a umidade constantemente, seja em solo úmido ou cursos de água;

5. O lastro deverá ser apoiado nas estacas previamente fixadas na base de forma horizontal, imobilizando os ramos;
6. Os ramos devem ser fixados através da ligação das hastes de madeira com arame ou sisal por todo o seu comprimento;
7. Cobrir com uma fina camada de solo para facilitar o enraizamento dos feixes.

BOAS PRÁTICAS – DICAS

- É recomendável que as plantas utilizadas sejam provenientes do local da obra;
- Aparar uma das pontas para facilitar o processo de fixação das hastes no talude.

FIGURA 29 – TÉCNICA LOGO APÓS A IMPLEMENTAÇÃO



FIGURA 30 – TÉCNICA APÓS AS ESTEIRAS GERMINAREM



Fonte: Universidade de Eötvös, Budapeste

FAXINAS OU FEIXES VIVOS

Materiais a serem utilizados:

- Ramos vivos com capacidade vegetativa;
- Estacas de madeira (dormente);
- Arame;
- Cascalho (lastro) eventualmente.

APLICAÇÕES

É uma técnica que consiste na utilização de feixes dispostos ao longo do caminho que a água pluvial percorre.

A sua aplicação é indicada para drenagem e para evitar erosão.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

1. Escavar uma vala de 20 cm a 80 cm de diâmetro, com profundidade de no máximo 40 cm. Ela servirá para que a água seja direcionada ao local correto.
2. Colocar ramos longos amarrados (formando feixes) de forma a preencher a vala.

FIGURA 31 – EXEMPLO DE FEIXE

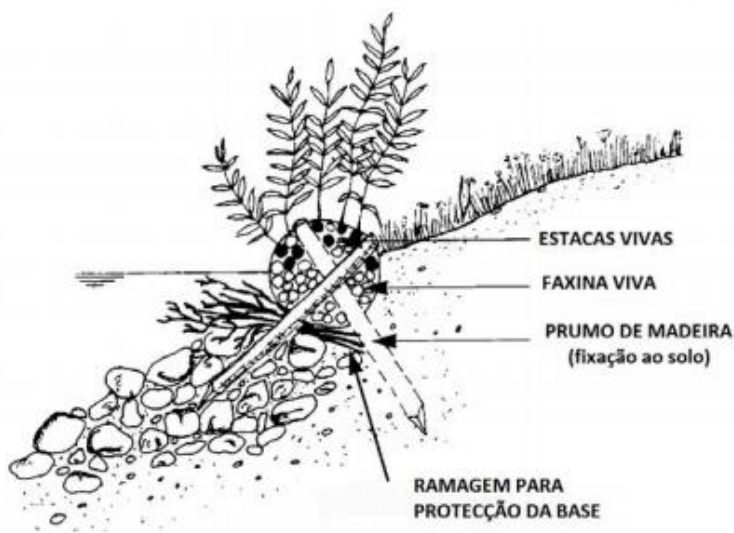


3. Cobrir com uma fina camada de solo.
4. Fixar os feixes/faxinas com estacas de madeira, com intervalos regulares de no mínimo 80 cm.
5. Se o terreno for muito inclinado pode ser utilizada a técnica de esteira viva para resistir às forças de tração exercidas pela água.

BOAS PRÁTICAS – DICAS

- Em locais com grande fluxo de água utilizar cascalho;
- Aparar uma das pontas para facilitar o processo de fixação das hastes no talude;
- É recomendável que as plantas utilizadas sejam provenientes do local da obra.

FIGURA 32 – ESQUEMA DE INSTALAÇÃO DE FAXINA VIVA



FONTE: Adaptado de Palmeri, 2003.

GABIÃO VIVO OU VEGETADO

Materiais a serem utilizados:

- *Lastro*
- *Geogrelhas*.

APLICAÇÕES

Contenção de movimentos de massa (taludes) e erosão de margens.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

É muito similar à de gabiões convencionais. Com a grade montada, juntamente ao preenchimento com pedras são posicionadas estacas espaçadas entre si.

GRADE VIVA

Materiais a serem utilizados:

- *Troncos de madeira;*
- *Equipamentos mecânicos;*
- *Pregos ou varão de ferro roscado;*
- *Arame;*
- *Estacas vivas de espécies arbustivas nativas de preferência;*
- *Plantas em torrão ou raiz nua;*
- *Biomanta;*
- *Malha metálica.*

APLICAÇÕES

A Grade Viva é uma solução de Engenharia Natural para a contenção de taludes que precisam ser estabilizados devido ao risco de erosão superficial. A estrutura inicial é construída com materiais vivos e inertes, após a deterioração da estrutura preliminar a vegetação que se desenvolveu nesse período passa a ser o elemento estrutural de controle erosivo.

A Técnica de Grade Viva pode ser aplicada na estabilização superficial e controle de erosão em taludes com no máximo 20 metros de altura e declive entre 40° e 60° e, eventualmente, em margens fluviais.

FIGURA 33 – EXEMPLO DE GRADE VIVA



Estrutura Inicial



Grade Viva já Consolidada

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

1. Regularização e limpeza do talude com o desmatamento da vegetação e retirada de entulhos como lixos, pedras com risco de queda ou troncos de árvores. Essas operações são feitas utilizando ferramentas mecânicas e possivelmente é completada manualmente;

FIGURA 34 – PERFIL DO TALUDE A SER REGULARIZADO



FIGURA 35 – EQUIPAMENTO A SER UTILIZADO



2. Preparação de um local para o apoio dos elementos de fundação, constituído por uma trincheira com profundidade igual a duas vezes o diâmetro das vigas horizontais. Esta operação é realizada por máquinas, mas também pode ser necessário um complemento manual;

FIGURA 36 – VISTA LATERAL DA TRINCHEIRA

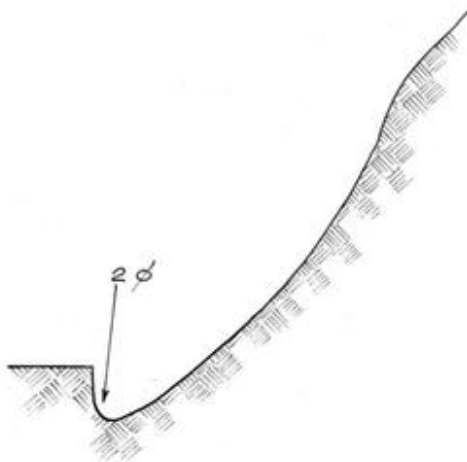


FIGURA 37 – MÁQUINA UTILIZADA



3. Cobrimento da superfície do talude com uma rede natural de fibras (biomantas) que seja aderente ao substrato e fixa-la com estacas de aço;
4. No caso de uma clara tendência de deslocamento de seixos, pedras ou fenômenos de fluidificação do solo, é colocado uma malha metálica além da biomanta;

FIGURA 38 – CORTE DA GRADE METÁLICA



5. Assentamento e fixação dos troncos de madeira dispostos horizontalmente para a fixação da base;

FIGURA 39 – POSICIONAMENTO DOS TROCOS HORIZONTAIS

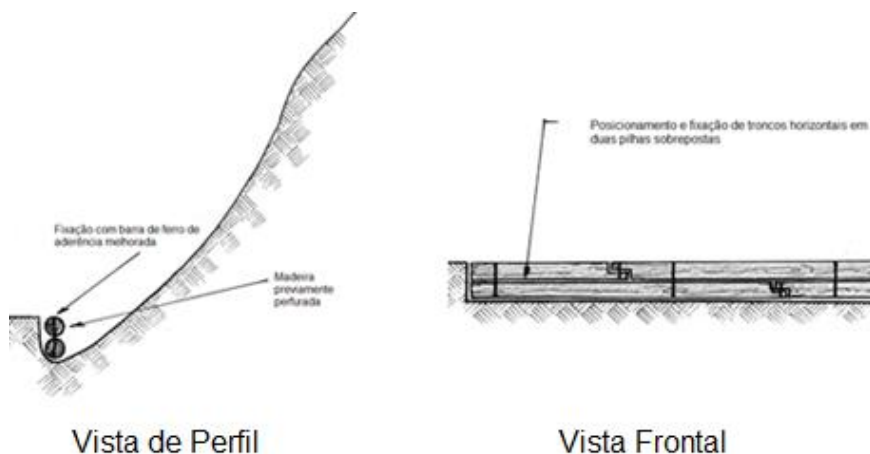
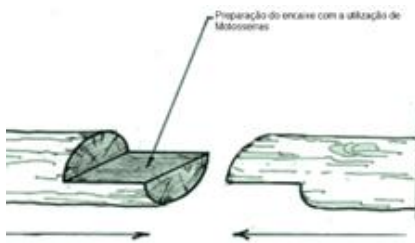
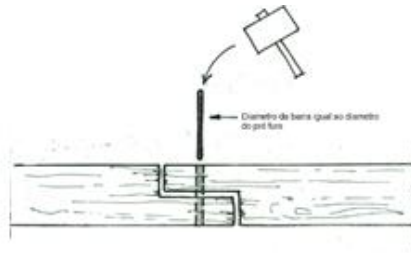


FIGURA 40 – DETALHES DAS VIGAS



Detalhe do encaixe de vigas horizontais



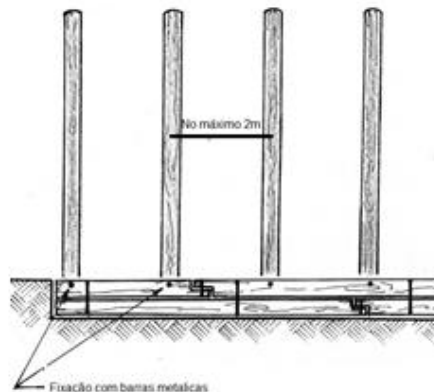
Fixação das vigas

6. Instalação e fixação de troncos inclinados (montantes) a uma distância de geralmente inferior a 2 m um do outro, paralelamente uns aos outros, com a mesma inclinação (valor máximo de cerca de 60° em relação à horizontal);

FIGURA 41 – POSICIONAMENTO DOS TRONCOS VERTICAIS

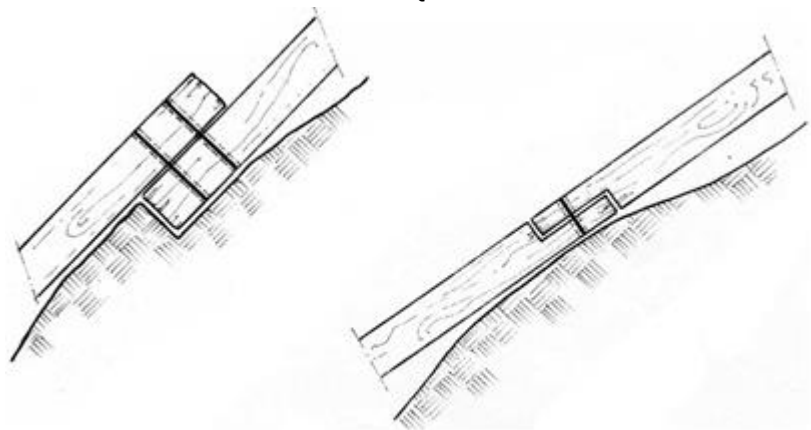


Vista de Perfil



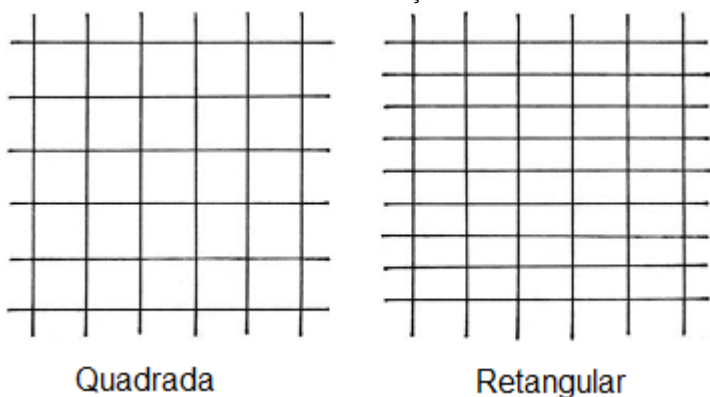
Vista Frontal

FIGURA 42 – DETALHE NOS TIPOS DE ENCAIXE PARA OS MONTANTES SUBSEQUENTES



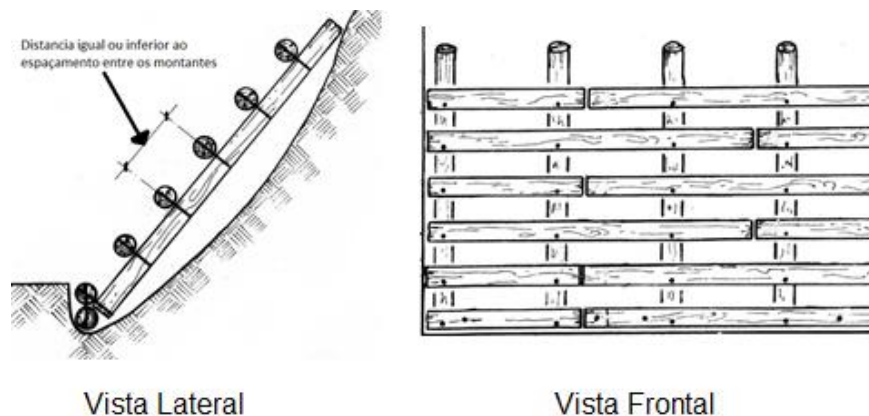
7. Posicionamento de troncos longitudinais, contínuos, fixos aos troncos inclinados subjacentes (montantes) numa linha horizontal. No que diz respeito à distância entre essa linha e a fundação (e entre as fileiras sucessivas), existem duas alternativas possíveis:
- a. Distância entre eixos igual ao espaçamento entre troncos inclinados (montantes). Nessa configuração são formadas janelas quadradas muito grandes e, quando se tem grandes inclinações, há dificuldades de confinamento do solo de enchimento;
 - b. Distância entre eixos diferente do espaçamento entre troncos inclinados (montantes). Nesse caso são formadas janelas retangulares conhecidas por uma contenção ótima do material de enchimento, mesmo com inclinações muito altas. É o mais aconselhável estruturalmente, no entanto implica em um aumento na quantidade de material necessário;

FIGURA 43 – CONFIGURAÇÕES DOS TRONCOS



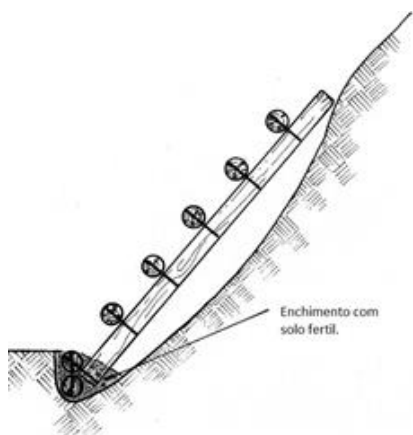
8. Instalação e fixação de sucessivas filas de troncos longitudinais (corrente) de acordo com os métodos e arranjos anteriores, até que a altura final da estrutura seja determinada;

FIGURA 44 – VISTAS DOS TRONCOS INSTALADOS

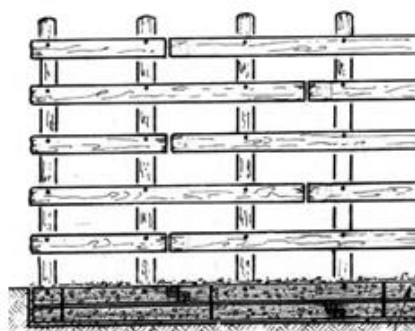


9. Enchimento com material inerte até o topo da segunda linha (o mais alto) dos troncos da base. Esta operação é realizada utilizando meios mecânicos e completada manualmente para formar um plano com uma ligeira inclinação, compactando o material e eliminando vazios ao mesmo tempo;

FIGURA 45 – VISTAS APÓS O ENCHIMENTO



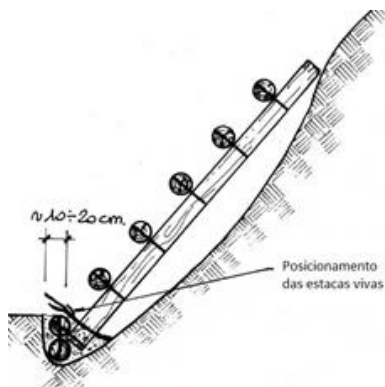
Vista Lateral



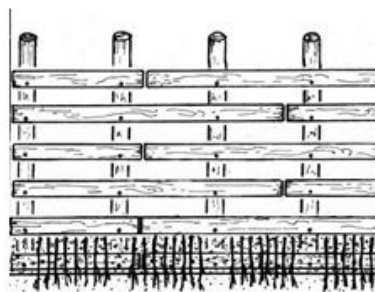
Vista Frontal

10. Plantação de material vegetal vivo (estacas) derivado de espécies nativas adequadas à reprodução vegetativa. A densidade ideal é próxima de 10 elementos por metro, mas pode variar consideravelmente;

FIGURA 46 – POSICIONAMENTO DAS PRIMEIRAS ESTACAS VIVAS



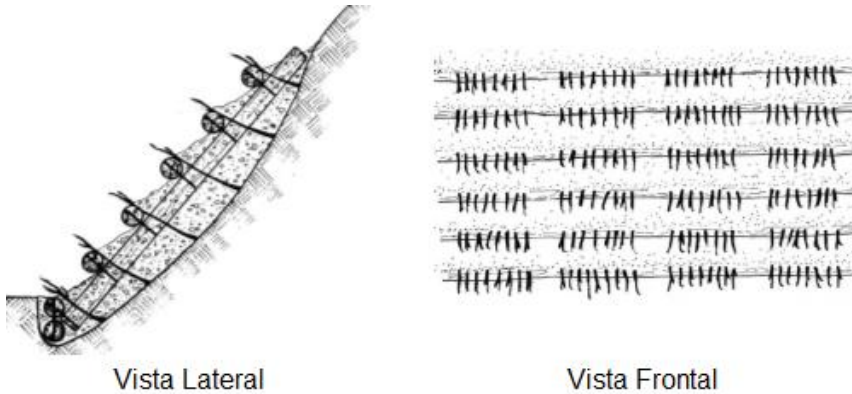
Vista Lateral



Vista Frontal

11. Preenchimento da camada subsequente com solo fértil e posicionamento das estacas vivas de acordo com a sequência anterior. Esse procedimento se repete até a conclusão da estrutura;

FIGURA 47 – VISTAS APÓS A FINALIZAÇÃO DO POSICIONAMENTO DAS ESTACAS VIVAS



12. Manutenção do material vegetativo com a irrigação de água durante o período de construção e após o término da construção.

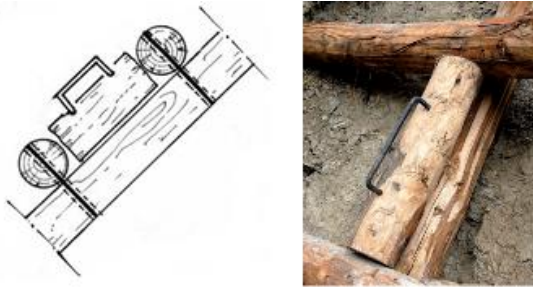
FIGURA 48 – IRRIGAÇÃO DO TALUDE



BOAS PRÁTICAS – DICAS

- O emprego de outras espécies que não sejam nativas pode ser uma alternativa, mas deve ser estudado cuidadosamente para não se tornar algo prejudicial a estabilidade do talude;
- A estrutura deverá ser construída durante o período de repouso vegetativo das plantas;
- Realizar podas (durante os tempos apropriados, por sistemas não invasivos);
- Irrigação das plantas em períodos muito extensos de seca;
- No passo 7, é interessante a utilização de espaçadores para o perfeito alinhamento das vigas.

FIGURA 48 – ESPAÇADORES DE MADEIRA



REQUISITOS E DIMENSIONAMENTO

Requisitos do regime hidrológico:

- Manter o solo úmido durante o período de execução da grade para que as estacas não sequem;
- Irrigar todo o solo após a finalização da construção.

Requisitos dos materiais:

- Os troncos de madeira podem ser produzidos com feixes de dormentes acoplados;

- Para as estacas é mais indicado a utilização de espécies nativas por se adaptarem melhor ao meio, por isso deve-se observar a vegetação característica do local;
- É interessante o uso de diferentes espécies arbustivas, entretanto deve ser levado em conta a demanda de água e o seu porte;
- Em geral são utilizadas espécies arbustivas, árvores de grande porte podem ser prejudiciais a estabilidade do talude;
- Para estacas vivas, é aconselhável que sejam plantadas no outono.

Informações para dimensionamento:

- Deve-se atentar para os limites de inclinação para o qual a estrutura tem boa reposta na contenção do talude (aproximadamente 60°);
- O dimensionamento do espaçamento entre os montantes, bem como entre as vigas, deverá ser feito de acordo com a inclinação da encosta e do tipo de solo;
- A utilização de uma ou duas vigas de madeira em um mesmo alinhamento deve ser dimensionado de acordo com a rigidez necessária para conter a massa de solo;
- Em casos de grande escoamento superficial, drenos podem ser necessários para reduzir o potencial erosivo;
- O espaçamento ótimo entre as estacas é em geral de 10 unidades por metro, mas essa condição deve ser dimensionada de acordo com as particularidades do terreno (inclinação, altura e solo);
- Adota-se como regra geral que a vegetação tem que ser mais densa na parte mais inferior e mais superior da estrutura, no inferior para agregar resistência e no topo para compensar por estar mais seca.

PALIÇADAS VIVAS

Materiais a serem utilizados:

- | | |
|--|--|
| ○ Escavadeira; | ○ Fita métrica; |
| ○ Motosserra com lâminas de reposição e EPI's; | ○ Plantas nativas (estacas, mudas de espécies) |

- *Marreta curta de mão (1,5 kg);*
- *Marreta longa de mão (5 kg);*
- *Alicate;*
- *Pá;*
- *Picareta;*
- *Serra para madeira;*
- *Faca reta;*
- *Tesoura de podar galhos manual;*
- *adequadas para reprodução vegetativa);*
- *Troncos (Larix decídua, Castanea sativa, Pinus nigra) descascados*
- *Fio de ferro galvanizado (D = 2 mm).*

ATENÇÃO! Os troncos devem apresentar as seguintes dimensões:

- Troncos horizontais: $3\text{ m} < L < 4\text{ m}$ e $10\text{ cm} < D < 15\text{ cm}$;
- Troncos verticais: $L = 1,5\text{ m}$ e $10\text{ cm} < D < 15\text{ cm}$.

Dormentes de madeira e de eucalipto tratado poderão ser utilizados contanto que obedeçam às dimensões especificadas.

APLICAÇÕES

Trata-se de uma estrutura linear de sustentação, no qual se sobrepõem vários troncos de madeira, fixados às estacas verticais previamente cravadas no terreno.

Aplicado para estabilizar superfícies de taludes com inclinações mais suaves, além de controlar processos erosivos pluviais lineares e laminares e estabilizar margens fluviais.

FIGURA 50 – EXEMPLO DE PALIÇADA VIVA



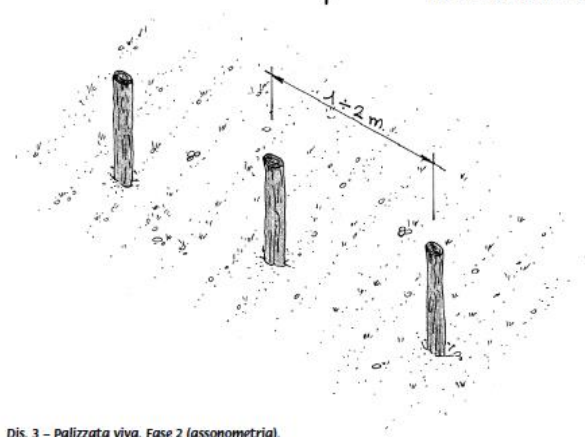
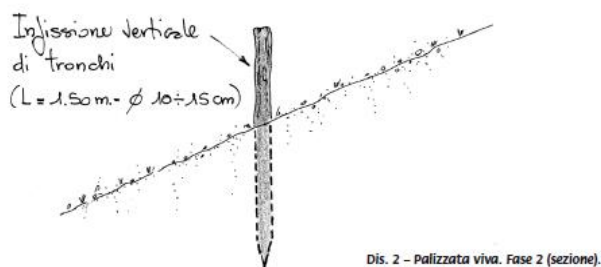
EXECUÇÃO DA TÉCNICA

FIGURA 51 – ESQUEMA EXEMPLIFICANDO A CONSTRUÇÃO DE UMA PALIÇADA



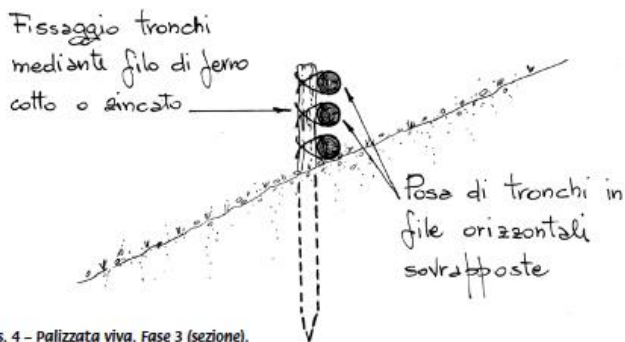
1. Preparação preliminar (eventuais operações de desbaste, modificação morfológica, limpeza e remoção de materiais soltos). Essas operações utilizam meios mecânicos, mas podem ser finalizadas manualmente;
2. Marcar os espaços a serem cavados;
3. Cravação vertical dos troncos (geralmente castanheira) a uma distância de 1 – 2 metros entre cada. A operação pode utilizar tanto meios mecânicos como manuais;

FIGURA 52 – EXECUÇÃO DO TERCEIRO PASSO

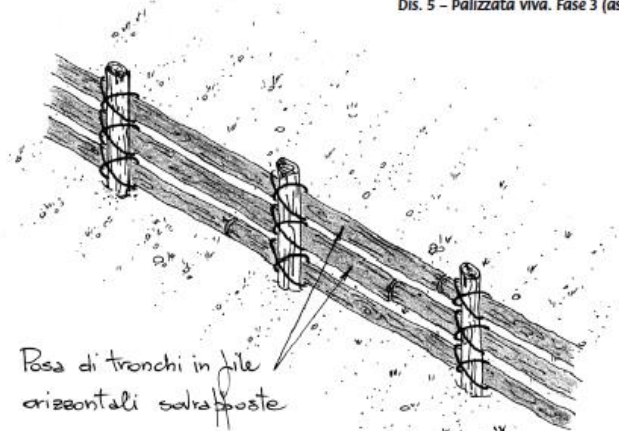


4. Amarrar os troncos horizontais (geralmente castanheira) às estacas verticais. A amarração é feita com fio de ferro;

FIGURA 53 – EXECUÇÃO DO QUARTO PASSO

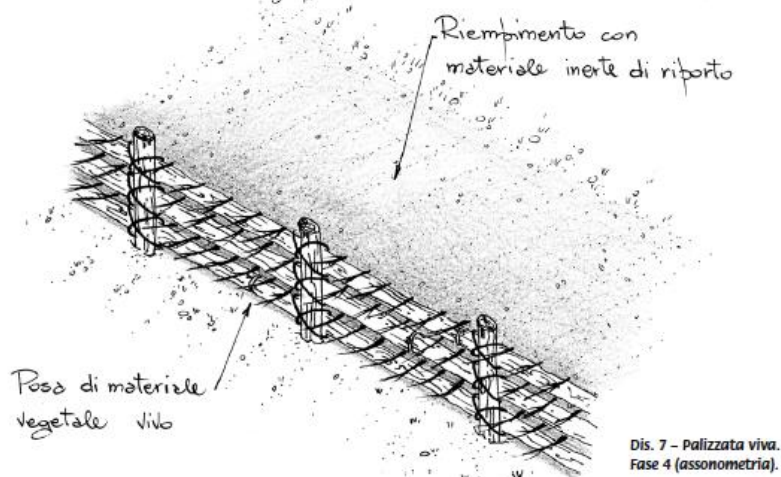
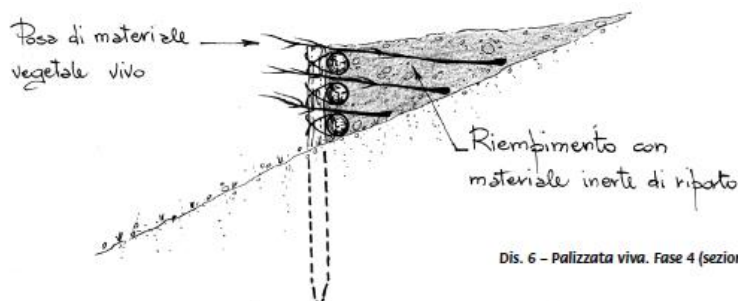


Dis. 5 – Palizzata viva. Fase 3 (assonometria).



5. Enchimento com material inerte concomitantemente com a plantação de material vegetal vivo (estacas) derivados de espécies nativas adequadas para reprodução vegetativa. As estacas devem estar em contato com o substrato e estarem de 10 cm a 20 cm fora da estrutura.

FIGURA 54 – EXECUÇÃO DO QUINTO PASSO



BOAS PRÁTICAS – DICAS

- Não utilizar a técnica em taludes muito inclinados (maiores que 60°);
- Cortar o topo da estaca em um ângulo reto e talhar a base em forma de ponta, para facilitar a cravação;
- Geralmente não se utiliza mais que 4 fileiras de estacas horizontais;
- Deixar um espaço entre os troncos horizontais para colocação subsequente de material vegetal vivo;
- Preencher de terra até próximo ao limite superior da paliçada;

- As espécies mais utilizadas pertencem ao gênero *Salix*: evitar, ou limitar, o uso do *Salix alba* (salgueiro branco), que atinge um crescimento significativo, comprometendo o equilíbrio da estrutura;
- Inspeções regulares são necessárias ao longo do ano. Estacas quebradas devem ser reparadas e fortificadas.

REQUISITOS E DIMENSIONAMENTO

- O dimensionamento dos troncos, bem como a profundidade e a distância entre cada cravação são condicionados pelas características litológicas e morfológicas do substrato e devem ser avaliadas para cada caso;
- A densidade ideal para plantação das estacas nativas é de 10 elementos/m, mas ainda assim é passível de variação;
- O método das paliçadas-vivas é adequado para solos com alta umidade, para que assim as estacas possam crescer. Caso o solo seja muito seco indica-se o uso de hidrogel para auxiliar na absorção de água.

FIGURA 55 – EXEMPLO DE PALIÇADA VIVA



FIGURA 56 – EXEMPLO DE PALIÇADA VIVA



RÂMPROLAS – ESPIÇÕES TRANSVERSAIS

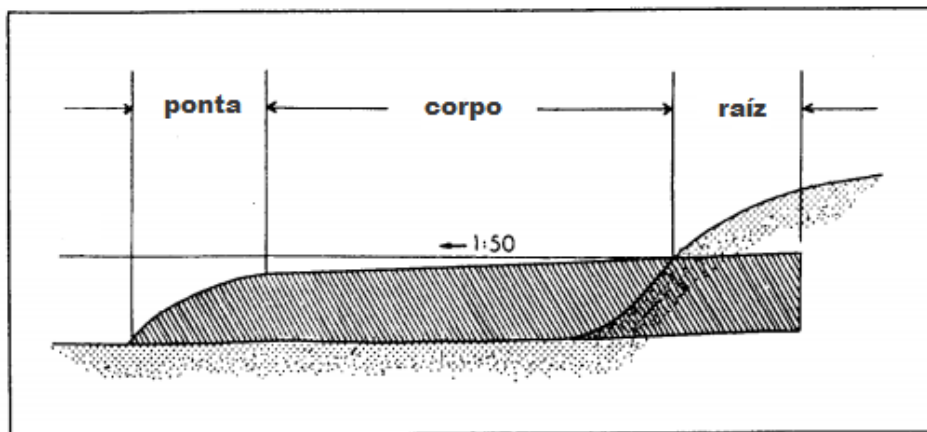
Materiais a serem utilizados:

- *Dormente de Madeira;*
- *Lastro Ferroviário;*
- *Mudas de Plantas nativas;*
- *Solo de cascalho fino.*

APLICAÇÕES

Proteção contra erosão das margens em cursos d'água mais largos que 10 m.

FIGURA 57 – CORTE ESQUEMÁTICO DE UMA RÂMPROLA COM PONTA DE COTA DECRESCENTE.

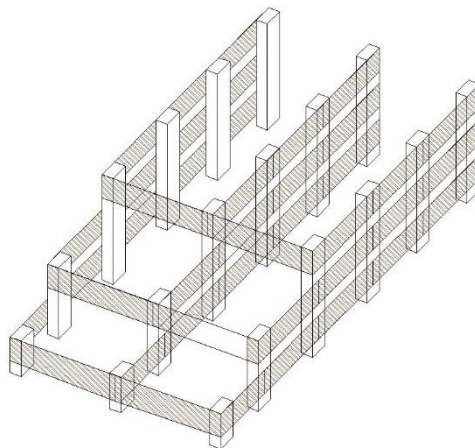


FONTE: Adaptado de DONAT, 1995.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

1. Construir e implantar, de acordo com a inclinação dimensionada, os berços duplos em que serão adicionados os outros materiais. Os dormentes devem ser posicionados horizontalmente em formatos retangulares, homogeneamente espaçados e fixados no solo por dormentes verticais. O mesmo processo deve ser repetido ao lado deste berço já construído e fixado, concluindo o berço duplo;
2. Os berços que irão compor a ponta da râmprola devem possuir cotas decrescentes, a fim de garantir as características hidráulicas do espigão, conforme a Figura 57;

FIGURA 58 - ILUSTRAÇÃO DE UM BERÇO DUPLO DE PONTA CONCLUÍDO



3. Preencher os berços com lastro ferroviário a fim de promover a estabilidade e também a impermeabilidade parcial necessária para que os objetivos hidráulicos sejam alcançados. O preenchimento deve ser feito de modo que a cota final de aterramento final esteja acima do nível médio da água;

FIGURA 59 - BERÇO SIMPLES DE RÂMPROLAS CONCLUÍDO.



4. Adicionar no topo das râmprolas, o solo de cascalho fino e os ramos de espécies nativas a fim de promover a biodiversidade e também,

uma vez fixada a vegetação, consolidar as râmprolas permanentemente;

BOAS PRÁTICAS – DICAS

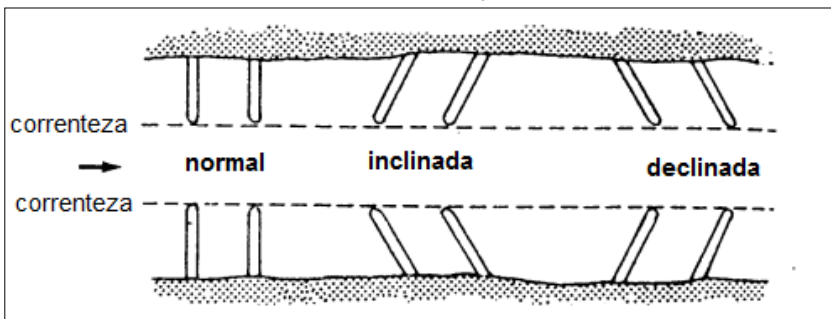
- Devem ser implantados vários conjuntos de râmprolas ao longo do curso d'água, uma vez que no espaçamento seguinte à râmprola, será criada uma turbulência, ocorrência essa que pode ser minimizada ao aplicar ao sistema um conjunto de râmprolas. Desse modo, o espaçamento pode ser dimensionado de forma simples, de modo que a distância entre os espigões não seja maior do que a distância entre as margens do curso d'água;
- As dimensões do berço não devem ultrapassar a escala de 1:3 (altura : comprimento) para râmprolas contracorrente (inclinada) e 1:4 para râmprolas à favor da corrente (declinada);
- A disposição das râmprolas pode ser feita três formas distintas: Inclinadas, declinadas ou retangulares (normal). O posicionamento inclinado é o mais utilizado, e, consiste em posicionar os berços com uma angulação de 60° - 85° em relação à margem, no sentido contrário da correnteza do curso d'água. Dentre as consequências de seu uso correto estão a desaceleração da corrente entre as râmprolas, a sedimentação elevada nesta área e também o direcionamento do eixo da torrente para o centro;
- O posicionamento declinado, por sua vez, consiste em posicionar os berços com no máximo 45° em relação à margem a favor da corrente, característica essa que proporcionará o direcionamento mais acentuado da correnteza para o centro bem como o aumento de sua velocidade. Entretanto, tal disposição não é tão recomendada, pois em épocas de cheias o espigão pode acabar desempenhando o papel inverso ao planejado e danificar as margens;

- Já a disposição normal ou retangular das râmprolas é feita colocando os berços em alinhamento ortogonal em relação ao curso d'água, fazendo com que a corrente seja defletida;
- Para evitar que o solo de cascalho fino seja levado pela correnteza, esse pode ser implantado em sacos de areia ou têxteis similares;
- Em períodos de cheias excessivas a ponta do espigão é mais afetada, demandando maior manutenção;
- O posicionamento dos berços pode ser feito em ambas as margens do curso d'água ou em apenas uma, entretanto, neste último caso, é necessário implantar um reforço na margem contrária, sendo assim recomendado o uso em ambas as margens com o alinhamento das pontas dos espigões;
- As pontas das râmprolas entre as margens devem estar alinhadas (FIGURA 60).

REQUISITOS E DIMENSIONAMENTO

- O espaçamento horizontal entre os elementos verticais do berço deve ser dimensionado de modo que este não seja maior do que o diâmetro efetivo do lastro a ser utilizado, a fim de evitar perda de material;
- As resistências dos dormentes bem como a verificação hidráulica do produto devem ser dimensionadas;

FIGURA 60 - DIFERENTES DISPOSIÇÕES DE RÂMPROLAS



FONTE: Adaptado de DONAT, 1995.

- A raiz do berço deve estar “amarrado” à margem, de modo de aproximadamente 20% do comprimento total esteja soterrado pela margem de modo que a râmpola deve ter a estabilidade geotécnica, hidráulica e estrutural verificada (FIGURA 57).

SACARIAS VIVAS

Materiais a serem utilizados:

- Sacos de geotêxtil permeáveis;
- Solo;
- Plantas nativas da região resistentes a abrasão;
- Espinhos metálicos (opcional).

APLICAÇÕES

Controle de erosão, filtragem e drenagem em margens e encostas; contenção de movimentos de massa e estabilização e proteção de taludes; restauração e controle de cursos d'água.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

1. Escavação de uma trincheira de fundação;
2. Preenchimento das sacarias com solo (areia);
3. Posicionamento das sacarias em camadas alternadas;
4. Entre cada camada posicionar galhos e mudas de plantas nativas.

BOAS PRÁTICAS – DICAS

- Ao invés de mudas e galhos, o plantio pode ser feito por sementes projetadas;
- Podem ser colocados espinhos entre as camadas para aumentar a união entre elas;
- Podem ser utilizados rochas em riprap na base para estabilização, principalmente nas utilizações em contenção de margens;

- Não utilizar em locais com alto risco de incêndios;
- Não utilizar em forma de “pirâmide”.

REQUISITOS E DIMENSIONAMENTO

- É recomendado limpar o terreno de matações antes da instalação;
- A trincheira de fundação tem tamanho variável, mas recomenda-se aproximadamente 410 mm de largura e 7,5 mm de profundidade;
- É necessário utilizar sacos para toda a altura do talude;
- Após o posicionamento de cada saco, ele deve ser compactado de maneira que sua face superior esteja plana e uniforme;
- No final de cada camada, posicionar o saco transversalmente ao eixo;
- A posição dos espinhos varia de acordo com a inclinação da encosta, mas sempre partindo do eixo longitudinal.

TERRA REFORÇADA E VEGETADA

Materiais a serem utilizados:

- | | |
|--|---|
| ○ <i>Painéis metálicos: malhas de arame soldadas com diâmetros diferentes, geralmente galvanizados, revestidos nas costas geogrelhas e geossintéticos;</i> | ○ <i>Ganchos, tirantes, fios de ferro;</i> |
| | ○ <i>Pedras;</i> |
| | ○ <i>Estacas vivas/Plantas enraizadas ou dormentes;</i> |
| | ○ <i>Lastro (material inerte)</i> |

APLICAÇÕES

Essa técnica pode ser utilizada para o suporte de taludes e margens fluviais com elevada inclinação, sistematização de deslizamentos de terra e estabilização e contenção de solos.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

1. Elaborar o projeto;
2. Fazer a escavação;

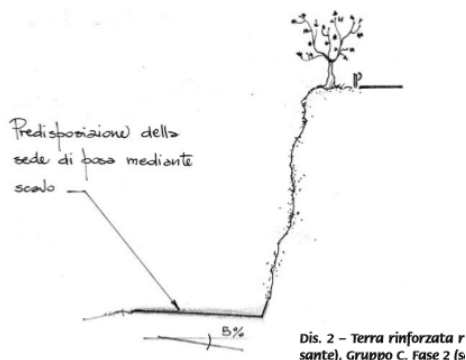
FIGURA 61 – ESQUEMA DE ESCAVAÇÃO



FONTE: Os Autores, 2017.

3. Retirar resíduos como folhas, galhos, etc. que possam ter permanecido após a escavação e comprometam a qualidade da construção;
4. Preparar o plano de suporte da estrutura compactando, formando uma superfície plana inclinada de cerca de 5% de inclinação. Fazer uma camada basal de espessura adequada com materiais de qualidade caso o substrato não possua as características geotécnicas necessárias;

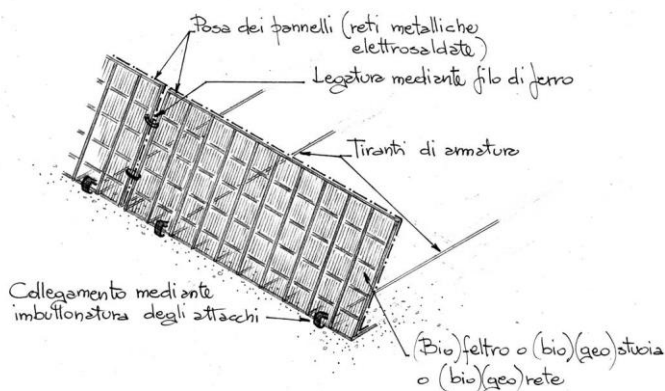
FIGURA 62 – PREPARAÇÃO DO PLANO DE SUPORTE



5. Primeira ordem de elementos: colocar e fixar na parte de design mais baixo, a primeira série de elementos:

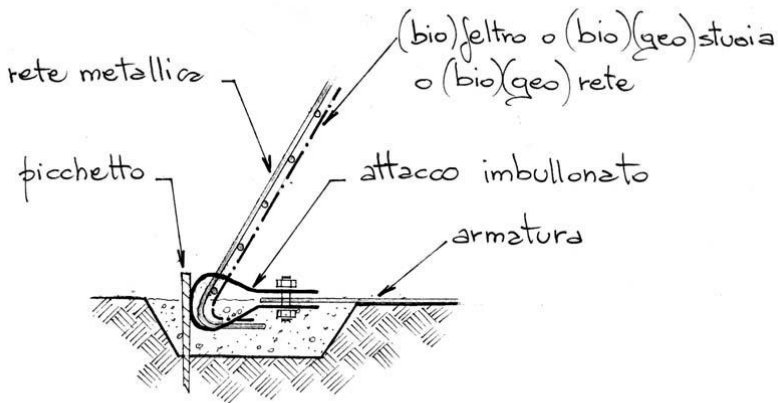
- Colocar painéis um ao lado do outro, na sua posição definitiva, que é no limite;
- Fazer a ligação entre os painéis;
- Colocar ganchos nos painéis;
- Posicionar tirantes perpendicularmente aos painéis;
- Ligar tirantes aos ganchos por parafusamento;

FIGURA 63 – DISPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS



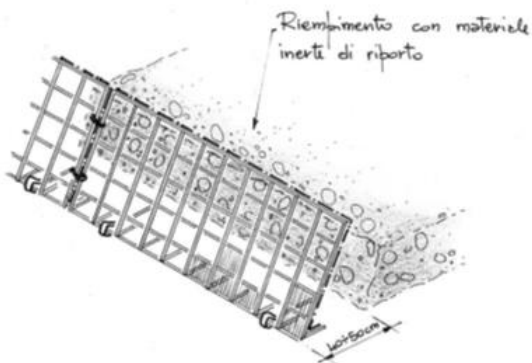
6. A fim de manter um alinhamento regular, é aconselhável fixar piquetes de boa aderência (L 40 cm - Ø 14 mm) na parte basal de cada painel, para evitar movimentos durante as operações. Caso as características geotécnicas do lugar requeiram, podem ser fixadas barras de ferro (L 2 m - Ø 30 mm), distribuídas ao longo do alinhamento da base;

FIGURA 64 – FIXAÇÃO DOS PIQUETES



7. Colocar a primeira camada de material inerte, preenchendo com uma espessura que não passe dos 30 cm. Deixe um espaço de 40 a 50 cm entre o lado interno dos painéis e a face do material de enchimento para permitir o enchimento subsequente com solo vegetal. Execute um rolamento preciso para compactação;

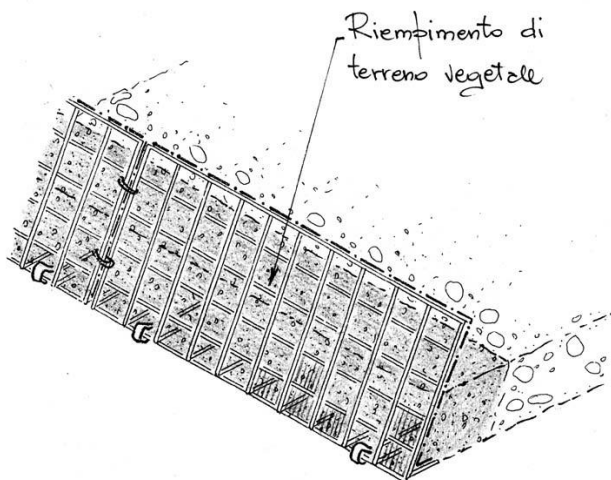
FIGURA 65 – COLOCAÇÃO DO MATERIAL INERTE



Evite o trânsito de meios mecânicos diretamente sobre os tirantes.

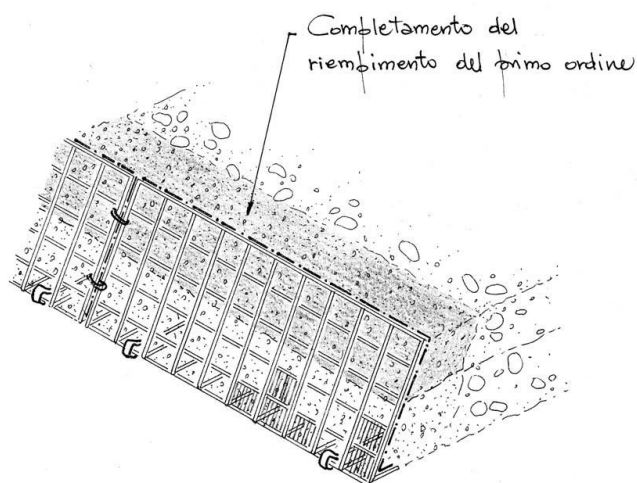
8. Colocar o solo vegetal no espaço entre o lado interno dos painéis de primeira ordem e a frente do material de enchimento (40 a 50 cm), com uma espessura de 30 cm também. Esta operação é realizada utilizando os meios mecânicos e completada manualmente. Compactar o material através de vibração mecânica ou manual;

FIGURA 66 – COLOCAÇÃO DO SOLO VEGETAL



9. Repetir as fases 7 e 8 até alcançar a altura dos painéis de primeira ordem;

FIGURA 67 – FINALIZAÇÃO DOS PASSOS ANTERIORES ATÉ ATINGIR A ALTURA DOS PAINÉIS DE PRIMEIRA ORDEM



10. Segunda ordem de elementos:

- Posicionar e fixar temporariamente os painéis de segunda ordem, no topo dos de primeira ordem;
- Uni-las lateralmente com fio de ferro como anteriormente feito;
- Uni-las com as de primeira ordem com os ganchos. Anexar aos ganchos os tirantes, perpendicularmente ao plano dos painéis, por parafusamento;
- Colocar cunhas provisórias de madeira para levantamento dos painéis de segunda ordem;
- Cobrir os tirantes com uma camada de material inerte para o seu bloqueio provisório;
- Preenchimento completo com solo vegetal e compactação por placa vibratória.

FIGURA 68 – DISPOSIÇÃO DOS FIOS METÁLICOS, DOS GANCHOS E DAS CUNHAS

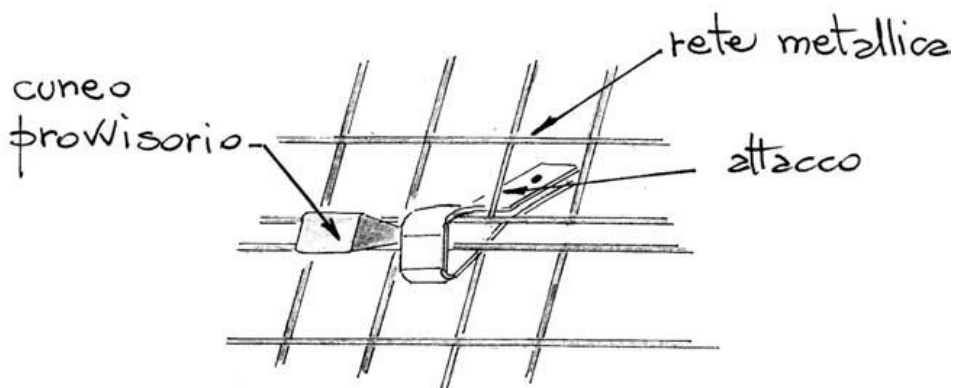
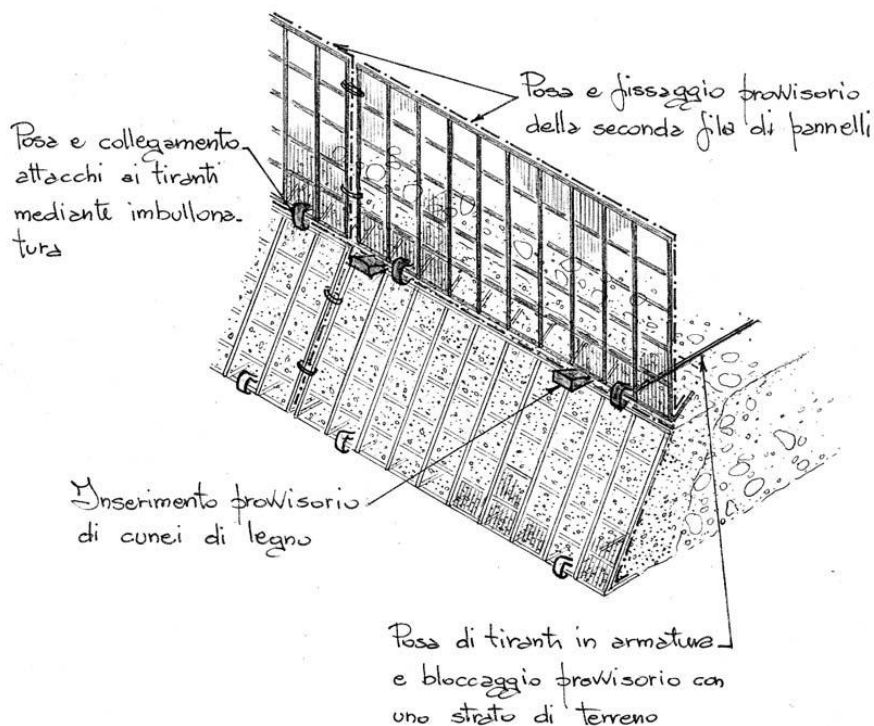
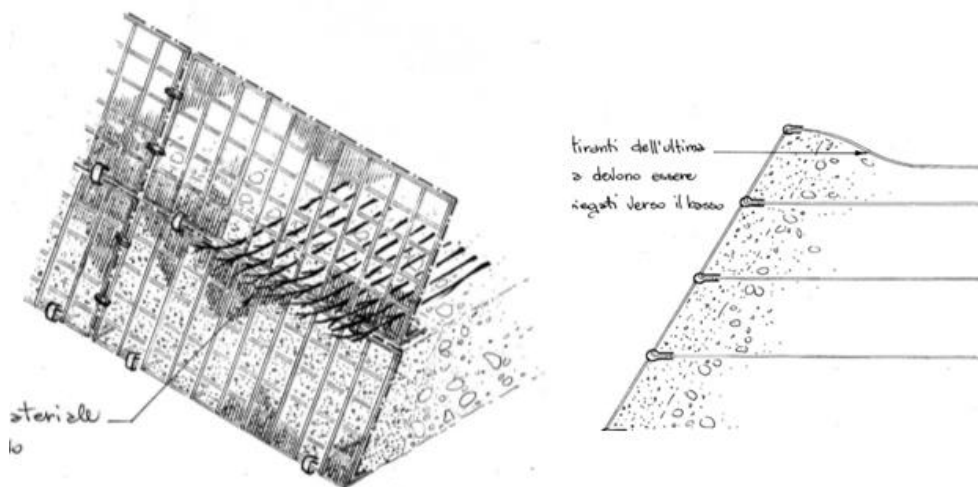


FIGURA 69 – POSICIONAMENTO DA SEGUNDA FILEIRA DE PAINÉIS



11. Inserir material vegetal vivo derivado de espécies nativas adequado para reprodução vegetativa (estacas ou plantas enraizadas);
12. Recheio de segunda ordem com material inerte e solo vegetal, segundo arranjos anteriores;
13. Implementação de ordens subsequentes, de acordo com os procedimentos e as medidas anteriores, até realização da altura final da estrutura;
14. Os tirantes da última ordem devem ser dobrados para baixo antes do preenchimento;
15. Preenchimento final com material inerte e solo vegetativo;
16. Remover as cunhas de madeira, mantendo-as temporariamente apenas nas duas últimas filas;
17. Realizar limpeza final (retirar resíduos de operação, detritos);
18. Pode-se realizar hidrosemeadura;

FIGURA 70 – INSERÇÃO DO MATERIAL VEGETAL E DISPOSIÇÃO DOS TIRANTES



BOAS PRÁTICAS – DICAS

- Prepare todos os sistemas de drenagem na base e na parte de trás da estrutura;
- Para facilitar e regularizar a colocação da primeira fila de painéis, é apropriado realizar uma calçada adequada em cascalho ou areia compactada;
- Tomar cuidado com especificações da espessura da camada de solo vegetal, pois o não atendimento pode levar à falta de aderência da vegetação e desconsideração da obra geotécnica como natural;
- Prestar atenção na compactação do solo vegetal pois a falta disso pode levar à deformação da estrutura;
- As espécies mais utilizadas pertencem ao gênero *Salix* (salgueiro): evite ou, pelo menos, limite o uso de espécies com crescimento considerável, influenciando negativamente a estática e o equilíbrio da estrutura;
- Tomar muita atenção ao colocar o material vegetativo pois isso deve respeitar a direção do crescimento.

REQUISITOS E DIMENSIONAMENTO

Requisitos das estacas vivas:

- Obter o material em locais próximos ao local de intervenção e colocá-lo no lugar o mais rápido possível. Se isso não for viável, tome todas as precauções possíveis para mantê-lo em condições ideais (longe do sol, vento, geada, condições secas) e, pelo menos, com a parte basal dos elementos individuais imersos em água, tendo em conta que o tempo entre colheita e plantação desempenha um papel desfavorável no sucesso final;
- Devem ter no mínimo 2 metros de comprimento e 0,01 – 0,07 metros de diâmetro;
- Não se deve operar fora do período de descanso vegetativo;

- Dimensionar e verificar a estabilidade dos taludes, tirantes metálicos e demais elementos estruturais.

Requisitos do lugar:

- Sempre verificar se haverá suficiente luz solar e água para alimentar o sistema;
- Que este possa prover fluxos e hidratação do aterro suficientes para manter as plantas crescendo bem, mas ter poucas enchentes de longa duração que poderiam exceder a tolerância de inundação;
- Substrato com características geotécnicas e agronômicas para que possa ser utilizado como o material de preenchimento da estrutura e que permita o crescimento das plantas. Caso não exista essa possibilidade, podem ser feitas emendas ou utilizar material de preenchimento externo.

Informações sobre o dimensionamento:

- A elevação da vegetação dentro da estrutura deve ser avaliada em relação à hidrologia e condição hidráulica do fluxo;
- Os projetos da terra reforçada vegetada podem atender a muitas necessidades. Modificações no pé da estrutura, dimensões e tipos de material podem ser feitas para se adequar a certas restrições;
- Análise do local, cálculos analíticos e modelagem podem ser necessárias para identificar movimentos de massa e potencial de erosão no pé da estrutura, que poderiam fazer com que esta flaqueie ou colapse;
- Os números de estacas/plantas necessárias variam de acordo com a elevação da estrutura, tipo de solo, e próprio aspecto e tamanho;
- Adota-se como regra geral que a vegetação tem que ser mais densa na parte mais inferior e mais superior da estrutura, no inferior para agregar resistência e no topo para compensar por estar mais seca;
- É vantajoso, muitas vezes, juntar diferentes tipos de plantas nas camadas, velando em consideração a elevação e necessidade de água.

Informações sobre a execução:

- A estrutura de terra reforçada viva pode ser instalada a qualquer momento do ano, mas é recomendada a época em que a elevação do fluxo da água esteja baixo ou normal;
- Plantas de raízes lenhosas instalam-se com maior sucesso na primavera. Para estacas vivas, a melhor estação de instalação é o outono;
- Quando são utilizadas estacas vivas para reforçar a estrutura, suas extremidades basais deverão estar inseridas em uma zona úmida dentro do banco. Quando são utilizadas plantas enraizadas para reforçar a estrutura, devem ser posicionadas na área frontal.

FIGURA 71 – EXEMPLO DE TALUDE ESTABILIZADO



TRANÇA-VIVA

Materiais a serem utilizados:

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| ○ Escavadeira; | ○ Material vegetal vivo nativo |
| ○ Marreta curta de mão (1,5 kg); | (adequado para reprodução); |
| ○ Marreta longa de mão (5 kg); | ○ Piquetes de madeira (em geral) |

- Serra para madeira; *de castanha) ou barra de ferro*
- Tesoura de podar galhos *de aderência melhorada;*
- manual;*
- Fita métrica; ○ Fio de ferro galvanizado.

ATENÇÃO! Os piquetes de madeira devem atender às seguintes condições de dimensão: $80\text{ cm} < L < 150\text{ cm}$ e $8\text{ cm} < D < 10\text{ cm}$.

Os dormentes de madeira e de eucalipto tratado, poderão ser utilizados nesse caso, contanto que obedeçam às dimensões especificadas.

Já os fios de ferro devem apresentar dimensões de $80\text{ cm} < L < 150\text{ cm}$ e $D = 14\text{ mm}$.

APLICAÇÕES

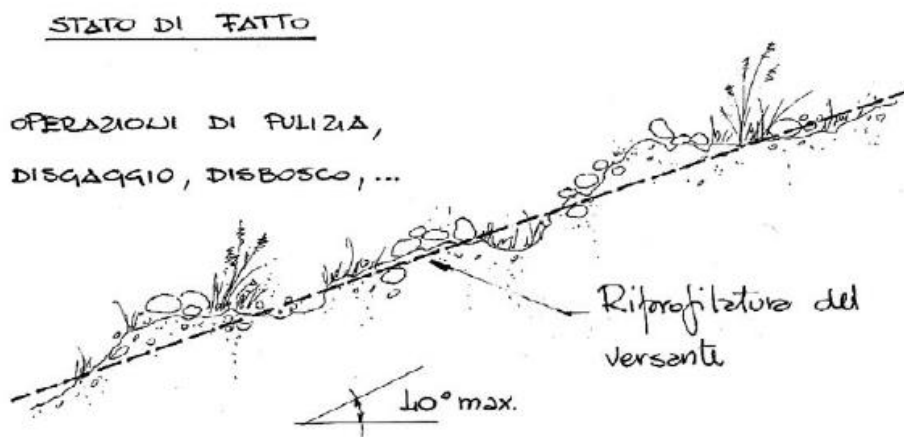
A Trança-Viva diz respeito à uma estrutura composta por material vegetal vivo entrelaçado em estacas fincadas no chão.

A técnica é adequada para estabilizar encostas em margens de cursos d'água e reter sedimentos em taludes que não sofram impacto frontal da água. Indicada para taludes de inclinações mais suaves.

EXECUÇÃO DA TÉCNICA

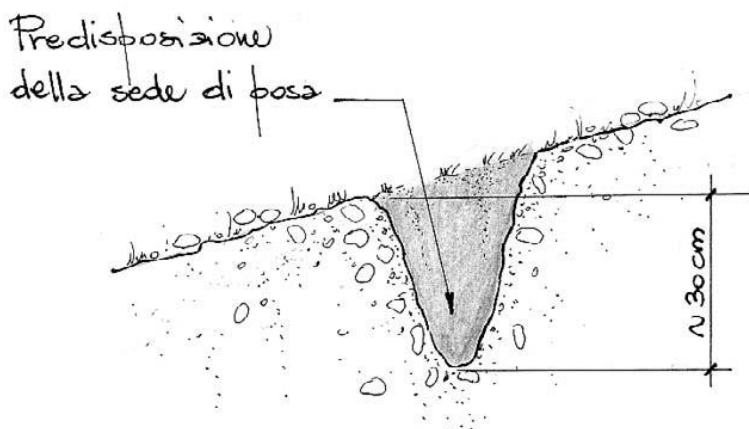
1. Executar a preparação preliminar do local de intervenção, realizando as operações de desbaste, limpeza e remoção de sujeiras e materiais inadequados. As operações podem ser realizadas tanto de forma mecânica como manual;

FIGURA 72 – EXECUÇÃO DO PASSO 1



2. Preparar o local de colocação, escavando um sulco com uma seção em V, com cerca de 30 cm de profundidade;

FIGURA 73 – FASE 2 (SEÇÃO)



3. Realizar a infusão vertical das estacas, na parte inferior do sulco, deixando uma distância entre 1 e 3 metros entre cada uma. Deve-se deixar as estacas de 20 a 25 cm acima do solo. É preferível que estas sejam de madeira ou de barra de ferro com moissas;

FIGURA 74 – EXECUÇÃO DO PASSO 3 (SEÇÃO)

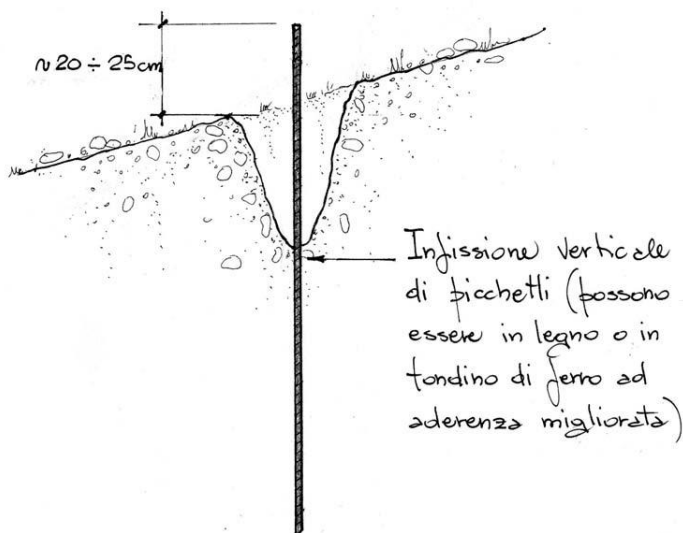
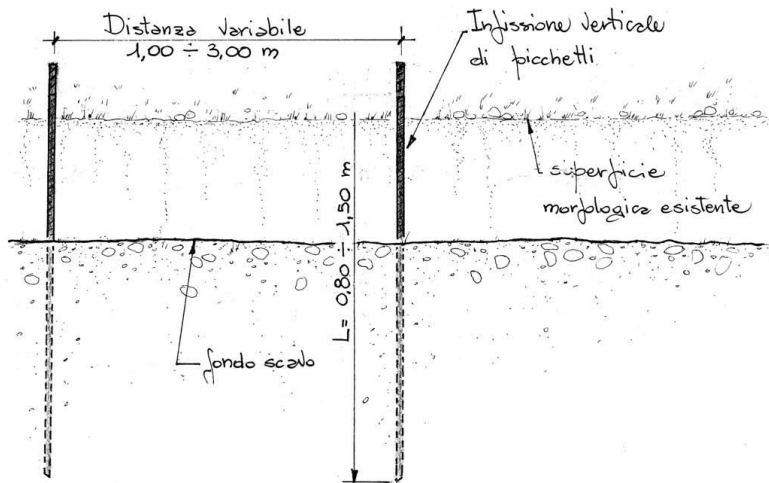


FIGURA 75 – EXECUÇÃO DO PASSO 3 (VISTA FRONTAL)



4. Fazer a infusão vertical de outras estacas, de comprimento menor que as primeiras, dispondo-as entre estas. As estacas devem ficar entre 20 a 25 cm acima do solo. Assim como as anteriores, as

estacas podem ser de madeira ou de ferro. Tal trabalho também pode ser realizado manualmente;

FIGURA 76 – EXECUÇÃO DO PASSO 4 (SEÇÃO)

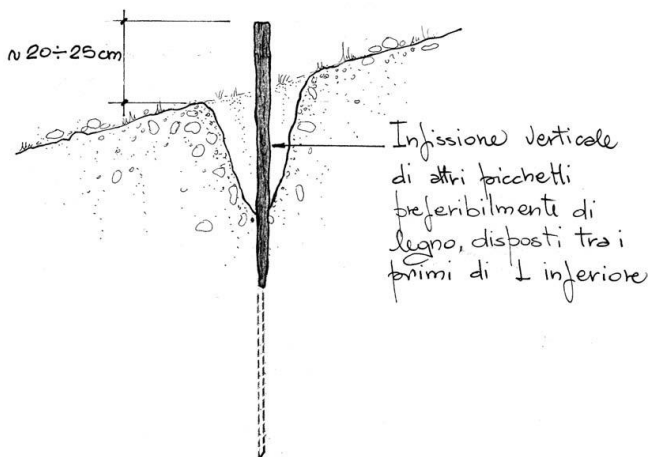
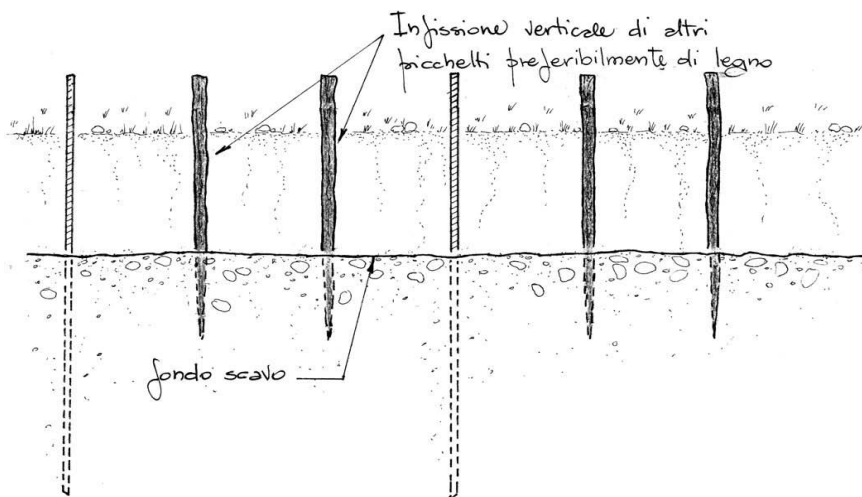


FIGURA 77 – EXECUÇÃO DO PASSO 4 (VISTA FRONTAL)



5. Entrelaçar de forma alternada o material vegetal vivo (derivado de espécies nativas) entre as estacas, logo abaixo destas;

FIGURA 78 – EXECUÇÃO DO PASSO 5 (SEÇÃO)

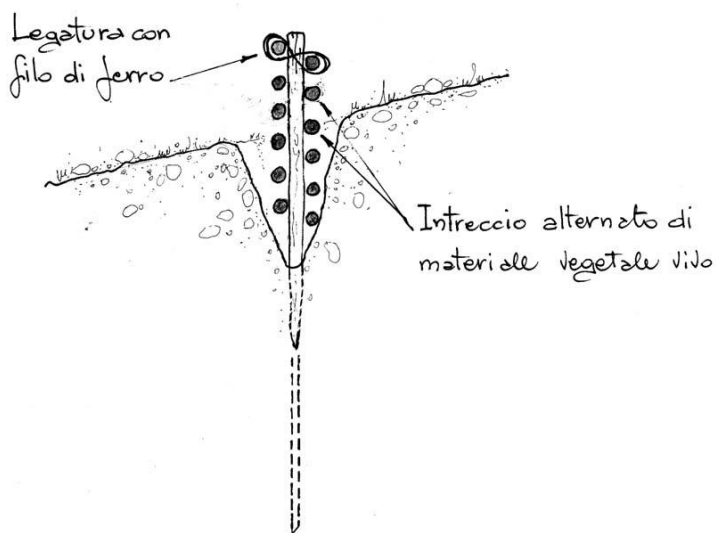


FIGURA 79 – EXECUÇÃO DO PASSO 5 (VISTA EM PLANTA)

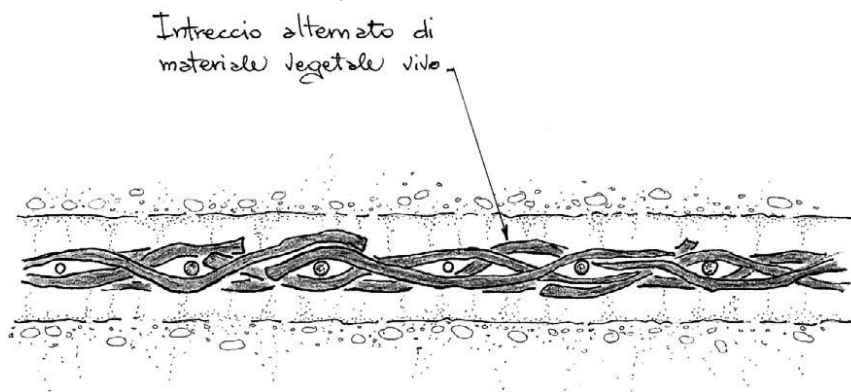
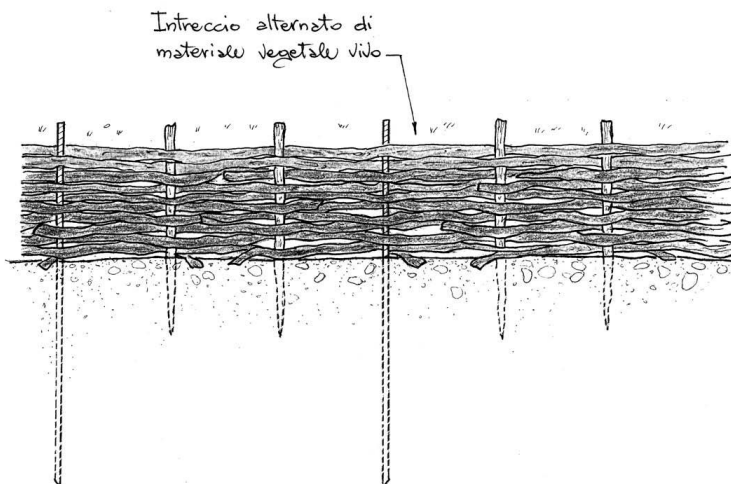
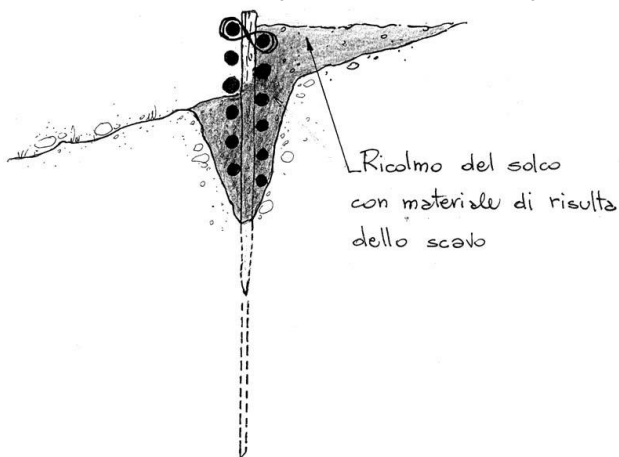


FIGURA 80 – EXECUÇÃO DO PASSO 5 (VISTA FRONTAL)



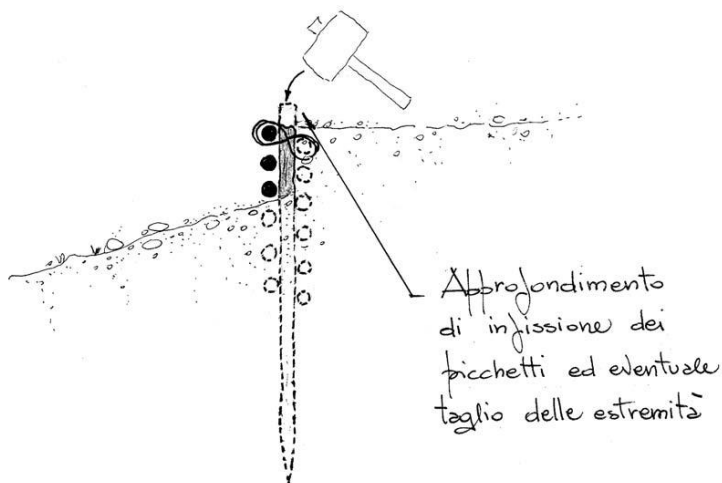
6. Preenchimento do sulco e a montante da estrutura com o material da escavação, seguido da compactação e reconstituição da superfície topográfica. A operação pode ser realizada através de meios mecânicos e completada manualmente;

FIGURA 81 – EXECUÇÃO DO PASSO 6 (SEÇÃO)



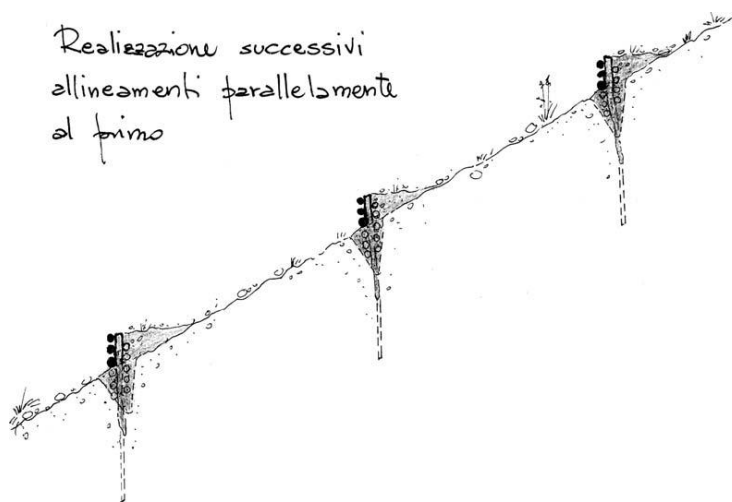
7. Aprofundamento da estaca e possível corte da extremidade superior, que não deve ultrapassar mais de 5 cm;

FIGURA 82 – EXECUÇÃO DO PASSO 7 (SEÇÃO)



8. Realização de sucessíveis alinhamentos paralelos ao primeiro (de acordo com os passos seguidos anteriormente) até atingir a altura final, determinada pelo projeto de estabilidade;

FIGURA 83 – EXECUÇÃO DO PASSO 7 (SEÇÃO)



9. Retirar detritos e resíduos de processamento, limpar totalmente o local.

FIGURA 84 - VIMINATA VIVA APÓS O PASSO 5



BOAS PRÁTICAS – DICAS

- Adequada para encostas não muito íngremes;
- Aconselha-se iniciar a intervenção pela base do talude;
- Deve-se ter cuidado na infusão das estacas de madeira, que deve ser feita sem causar arranhões e fraturas;
- Normalmente utiliza-se mais as espécies do gênero *Salix* (salgueiro), contudo é bom evitar o uso da *Salix alba* (salgueiro branco), que cresce além do desejado, causando problemas na estrutura;
- Fazer alinhamentos de 1 a 3 metros de distância, dependendo das características do substrato;
- Durante o passo 9 é possível utilizar resíduos orgânicos como ramos e madeiras para serem misturados com o material de enchimento, mas é preciso haver cuidado para não formar vazios (que podem ser perigosos) durante a fase de compactação;

- Durante o primeiro ano de construção a estrutura requer uma manutenção cuidadosa e direcionada:

Manutenção ordinária:

- Irrigação durante o período de construção;
- Irrigação ao final da construção;
- Podas (durante momentos apropriados, em sistemas não invasivos).

Manutenção extraordinária:

- Restauração de eventuais locais de vazios, devido à erosão causada pelas chuvas fortes;
 - Irrigação durante períodos particularmente críticos;
 - Erradicação de ervas daninhas.
- Haver disponibilidade de tempo, pois a técnica é de execução relativamente demorada;
 - Recomenda-se a utilização de plantas do gênero *Salix*, e outras espécies como *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana* e *Senna reticulata*.

REQUISITOS E DIMENSIONAMENTO

Indicado para cursos de água com velocidade máxima inferior a 3,5 m/s;

- O dimensionamento dos troncos, bem como a profundidade e a distância entre cada cravação são condicionados pelas características litológicas e morfológicas do substrato e devem ser avaliadas para cada caso;
- Método das tranças vivas é adequado para solos com boa umidade, para que assim o material vegetal vivo possa crescer. Caso o solo seja muito seco indica-se o uso de hidrogel para auxiliar na absorção de água.

FIGURA 85 – EXEMPLO DE OBRA COM ESTACA VIVA



FIGURA 86 – EXEMPLO DE OBRA COM ESTACA VIVA



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os alunos do Grupo de Estudos em Geotecnia (GEGEO) e do Programa de Ensino Tutorial (PET Civil) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) gostariam de agradecer a oportunidade nos dada pela Rumo Logística quanto à elaboração deste material, uma vez que este engrandeceu nosso conhecimento técnico e ampliou o conhecimento tecnológico na área de estabilidade de encostas.

Conforme descrito no presente trabalho, pudemos compreender que há a possibilidade de utilização de materiais ferroviários juntamente com soluções de Engenharia Natural como técnicas de estabilização, ou seja, através de soluções alternativas, de baixo custo e com técnicas de execução relativamente simples. Desta forma, conseguimos cumprir com uma das funções básicas da Engenharia: a aplicação de conhecimento técnico aliado aos recursos naturais em benefício do ser humano.

Por fim, gostaríamos de ressaltar que o material elaborado tem como função principal a de ser um guia básico para que seja possível a resolução de problemas reais com os recursos específicos. Sendo assim, o mesmo não deve ser tomado como único conhecimento perante a resolução de um problema geotécnico, pois cada caso tem as suas particularidades que devem ser estudadas e, também, pelo fato de este trabalho não conseguir substituir a necessidade de se consultar um profissional capacitado e nem oferece subsídios para que alguma decisão seja tomada sem a posse de ensaios laboratoriais que caracterizem melhor a situação problema.

REFERÊNCIAS

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Solo Grampeado**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/ferrovias/consulta-publica/101-pim-trilho.pdf>> Acesso em: 20 out. 2017.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO. **Solo Grampeado**. Disponível em: PUC-RIO versão digitalizada (Solo Grampeado).

SOLOTRAT. **Solo Grampeado**. Disponível em: <<http://www.solotrat.com.br/assets/pdf/1999-solo-grampeado-execucao.pdf>> Acesso em: 21 out. 2017.

ENGENHARIA CONCRETA. **Muro de Gabião: Principais Características e Como Utilizar**. Disponível em: <<http://engenhariaconcreta.com/muro-de-gabiao-principais-caracteristicas-e-como-utilizar/>> Acesso em: 25 out. 2017.

Como Contratar Muros de Gabião. **Construção Mercado Negócios de Incorporação e Construção**. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/154/artigo310995-1.aspx>> Acesso em: 25 out. 2017.

BELGO BEKAERT ARAMES. **Gabiões Belgo**. Disponível em: <<http://www.belgobekaert.com.br/Produtos/Paginas/Arame-Galvanizado-para-Gabiao.aspx>>. Acesso em: 27 out. 2017.

Muro de Gabião. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/maccaferri/obras_de_contencao_opt.pdf> Acesso em: 27 out. 2017.

FGS GEOTECNIA. **Chave Granular**. Disponível em: <http://www.geosolucoesengenharia.com.br/novo_site/2016/php/index.php?link=projeto&sub=1#> Acesso em: 27 out. 2017.

LOPES, R. J. S. **Estudo de soluções para a implementação do plano ambiental de recuperação paisagística da Pedreira da Costa Queimada – Penafiel**. 166 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia em Minas, Faculdade de Engenharia da Faculdade do Porto, 2010.

CHAPTER 4: BIOENGINEERING MEASURES. Disponível em: <<http://lib.icimod.org/record/27708/files/Chapter%204%20Bioengineering.pdf>> Acesso em: 19 out. 2017.

FERRARI, R. et al. **Quaderni di Cantiere, Volume 15: PALIZZATA VIVA**. 32 f. Assessorato all’Ambiente e Cooperazione tra i Popoli, 2008.

CAVALCANTE, A. de J. B. D. **Impactos nos processos morfológicos do baixo curso do rio São Francisco decorrentes da construção de barragens**. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia. UFRJ, 2011.

DONAT, M. **Bioengineering Techniques for Streambank Restoration: A Review of Central European Practices**. Watershed Restoration Project Report No. 2, 1995.

SCHIECHTL, Hugo Meinhard. **Water Bioengineering Techniques for Watercourse, Bank and Shoreline Protection**. Oxford Cambridge, Mass. Blackwell Science, 1997.

MACHADO, P. H. **Desenvolvimento de uma metodologia analítica para o dimensionamento de tranças vivas e sua análise paramétrica**. 28 f. Tese (Pós-graduação) – Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, 2017.

Vegetated Reinforced Soil Slope Streambank Erosion Control By Robbin B. Sotir¹ and J. Craig Fischenich²

SOUSA, R. **Metodologia para especificação de plantas com potencial biotécnico em Engenharia Natural**. 2015.

BRENNER, V. C. **Proposta metodológica para renaturalização de trecho retificado do Rio Gravataí – RS**. 94 f. Dissertação (Mestrado) –

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

FERRARI, R. et al. **Quaderni di Cantiere, Volume 3: VIMINATA VIVA (di versante)**. 41 f. Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli, 2006.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo, 2006.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de Taludes**. São Paulo, 2012.

LAZIO, R. **Terra Rinforzata Rinvertida di Versante**. Assessorato Ambiente e Cooperazione tra i Popoli: l'Assessore F. ZARATTI

GEORIO. **Manual Técnico de Encostas: Ancoragem e Grampos**. Fundação GeoRio, 2000. 184 p.

CLOUTERRE. **Recommandations Clouterre**. Project National Clouterre, Presses de l'ENPC, Paris, 1991. 269 p.

ORTIGÃO, J. A. R. e Palmeira. **Optimised design for soil nailed walls**. In: Proceedings on the 3rd International Conference on Ground improvement Geosystems (GIGS), pp. 368-374, London, UK, June. Edited by M. C. R. Davies, F. Schlosser, Ground improvement Geosystems, Thomas Telford, London, UK, 1997.

ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTA. In: **Glossário da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental**. Disponível em: <http://www.abge.com.br/glossario/?name_directory_startswith=E> Acesso em: 29 out. 2017.