



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA**

**JOÃO VICTOR HENRIQUES REZENDE NOGUEIRA
KARINA FÁTIMA PEREIRA DE OLIVEIRA**

***ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SOLUÇÕES PARA
CONTENÇÃO DE TALUDES NA MALHA
FERROVIÁRIA***

**OURO BRANCO-MG
JULHO-2023**



Universidade Federal
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAPEBA**

**JOÃO VICTOR HENRIQUES REZENDE NOGUEIRA
KARINA FÁTIMA PEREIRA DE OLIVEIRA**

***ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SOLUÇÕES PARA
CONTENÇÃO DE TALUDES NA MALHA
FERROVIÁRIA***

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado à Coordenação do
Curso de Graduação em Engenharia
Civil, da Universidade Federal de São
João del-Rei, *Campus* Alto Paraopeba,
como requisito parcial para a obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia
Civil.

Orientador: Tales Moreira de Oliveira

OURO BRANCO-MG
JULHO-2023

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N778a

Nogueira, João Victor Henriques Rezende.

Análise comparativa entre soluções para contenção de taludes na malha ferroviária./ João Victor Henriques Rezende Nogueira; Karina Fátima Pereira de Oliveira; orientador Tales Moreira de Oliveira. -- Ouro Branco, MG, 2023.

17 p. il.

Trabalho de Conclusão (Graduação - Engenharia Civil) -
Universidade Federal de São João del-Rei, 2023.

1. Ferrovia 2. Cortina atirantada 3. Strataslope 4. Terramesh 5. Saco de rafia I. Oliveira, Karina Fátima Pereira de. II. Oliveira, Tales Moreira de, orient. III. Título.

**JOÃO VICTOR HENRIQUES REZENDE
NOGUEIRA**

KARINA FÁTIMA PEREIRA DE OLIVEIRA

***ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SOLUÇÕES
PARA CONTENÇÃO DE TALUDES NA MALHA
FERROVIÁRIA***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ____ / ____ / _____

COMISSÃO EXAMINADORA:

Tales Moreira de Oliveira
(Orientador)

Leandro Neves Duarte
(Examinador 1)

Thiago Brienne Gonçalves Gomes
(Examinador 2)

1. AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus, por ter nos concedido a oportunidade de aprender.

Aos nossos pais, por nunca medirem esforços para que alcancemos nossos sonhos.

Ao professor Tales, por todo apoio e ensinamentos, que contribuíram significativamente para a conclusão de mais uma etapa acadêmica e profissional.

A Universidade Federal de São João del-Rei, campus Alto Paraopeba, por ser um marco inesquecível nas nossas vidas.

E a todos que indiretamente contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein



Análise comparativa entre soluções para contenção de taludes na malha ferroviária

João Victor Henriques Rezende Nogueira

Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, Brasil, joaovictorhrn04@gmail.com

Karina Fátima Pereira de Oliveira

Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, Brasil, karinaafatimaa@gmail.com

RESUMO: Com o objetivo de atender ocorrências relacionadas a deslizamentos em taludes de ferrovia e tendo diferentes soluções possíveis é interessante estudar aquelas mais empregadas e compará-las, bem como avaliar a inserção de potenciais novas soluções. Neste contexto soluções com emprego de geossintéticos e escória que vem sendo estudado pelo grupo de pesquisa Infrageo, podem se tornar viáveis, mas é preciso avaliar e consolidar variáveis impactantes na tomada de decisão de modo a possibilitar a escolha da melhor solução para empresas ferroviárias. Assim posto e considerando que a ruptura de talude em ferrovia pode levar a uma paralisação impactando no transporte de carga, por exemplo, tais soluções precisam ser ágeis e eficientes. Com base na experiência prática de uma empresa ferroviária de Minas Gerais quatro soluções foram estudadas sendo: aterro reforçado com geossintético utilizando escória e saco de rafia como paramento de face, outra solução substituindo saco de rafia por Strataslop, Terramesh e cortina atirantada. Ao final do artigo, será apresentado um *scorecard* da análise comparativa entre essas soluções, identificando a mais adequada para a contenção e estabilização de taludes ferroviários, avaliando critérios técnicos, dos insumos e financeiro para um caso específico.

PALAVRAS-CHAVE: Ferrovia, Cortina atirantada, Strataslope, Terramesh e Saco de rafia.

ABSTRACT: With the objective of responding to occurrences related to landslides on railroad slopes and having different possible solutions, it is interesting to study those most used and compare them, as well as to evaluate the insertion of potential new solutions. In this context, solutions using geosynthetics and slag that have been studied by the Infrageo research group, may become viable, but it is necessary to evaluate and consolidate impacting variables in decision making in order to enable the choice of the best solution for railway companies. Thus, and considering that the failure of a railroad slope can lead to a stoppage, impacting cargo transport, for example, such solutions need to be agile and efficient. Based on the practical experience of a railway company in Minas Gerais, four solutions were studied: landfill reinforced with geosynthetic using slag and raffia bag as facing, another solution replacing raffia bag with Strataslop, Terramesh and cable-stayed curtain. At the end of the article, a scorecard of the comparative analysis between these solutions will be presented, identifying the most adequate one for the containment and stabilization of railway slopes, evaluating technical, resources and financial criteria for a specific case.

KEYWORDS: Railway, Anchored curtain, Strataslope, Terramesh e Raffia bag.

1 Introdução

Deslizamentos de terra em infraestruturas de transporte são eventos preocupantes devido aos impactos significativos que podem trazer a segurança e a economia. No primeiro trimestre de 2023, a cidade de Alfredo Vasconcelos, em Minas Gerais, enfrentou fortes chuvas que resultaram em deslizamentos de terra em um trecho ferroviário. Esse incidente causou danos à linha férrea e a interrupção temporária do transporte ferroviário na região.

Acredita-se que o incidente ocorreu devido à diminuição da resistência ao cisalhamento do solo causada pela perda de resistência em função do acúmulo de águas pluviais, que tende a reduzir a coesão aparente, comprometendo assim a sua estabilidade e resultando nos deslizamentos. Para garantir uma estabilização



temporária do talude e permitir o fluxo adequado, uma solução paliativa foi implementada através da cravação de estacas metálicas, solução recorrente geralmente implantada por esta empresa ferroviária local, até que seja feito uma obra permanente, conforme Figura 1, de autoria própria.



Figura 1. Cravação de estaca metálica na ocorrência de Alfredo Vasconcelos.

Motivado por essa ocorrência e visando a possibilidade de obra definitiva, o objetivo deste artigo é comparar possíveis técnicas para a recuperação da estabilidade de taludes ferroviários, com base em análise técnica, disponibilidade de insumos e viabilidade financeira. As soluções em questão são: saco de ráfia preenchido com escória de aciaria para formar paramento de face em estrutura de aterros reforçados com geossintéticos onde o aterro também é construído com escória compactada, cortina atirantada, terramesh e também escória reforçada com geossintéticos com sistema de faceamento interno em Strataslope.

A cortina atirantada é uma técnica de contenção que consiste na instalação de tirantes, geralmente feitos de aço, ancorados no solo para estabilizar o talude. Essa solução tem sido amplamente utilizada em projetos de infraestrutura pela empresa ferroviária local, devido à sua eficácia na solução de problemas.

O aterro reforçado com geossintético utilizando escória e saco de ráfia como paramento de face é uma alternativa mais simples e de baixo custo para a contenção de taludes. Consiste na utilização destes sacos preenchidos com material granular, como areia, pedras ou escória de aciaria, dispostos em camadas e compactados ao longo da face do talude, permitindo que a tardez seja construído o aterro que pode ser em solo oriundo de área de empréstimo ou uso também de escória. Para o caso em questão, não será avaliada a utilização dos sacos de ráfia para realizar a obturação de um cratera ou pequenas rupturas, mas será realizada uma análise para determinar a viabilidade da solução como elemento de face e preenchimento em escória de aciaria, resíduo formado pela fusão das impurezas do minério de ferro, juntamente com a adição de fundentes (calcário e dolomita) (ArcelorMittal, 2023).

O solo reforçado com geossintéticos e sistema de faceamento interno em Strataslope é uma técnica semelhante ao saco de ráfia, porém é inovadora por utilizar elementos compostos por telas soldadas e galvanizadas, dobradas em “L” e estabilizadas por barras metálicas. Para o estudo, também será considerado o preenchimento por escória de aciaria.

Já o Terramesh, segundo a empresa Maccaferri, consiste em unidades pré-montadas de malha hexagonal de dupla torção formada por arame de baixo teor de carbono revestido com galfan, liga metálica de zinco e alumínio, prontas para serem montadas quando chegarem ao canteiro de obras. O elemento de reforço, face e tampa formam um painel contínuo de malha, apresentando alta capacidade de ancoragem e facilidade construtiva. O faceamento é composto ainda por brita, e o preenchimento interno formado por escórias de aciaria.

Ao realizar essa comparação entre essas soluções apresentadas, espera-se fornecer informações relevantes para a tomada de decisão em relação à recuperação da estabilidade de taludes ferroviários. A análise de insumos avaliará fatores característicos de utilização e disponibilidade, enquanto a análise financeira irá destacar a viabilidade econômica de cada opção. A análise técnica irá considerar aspectos relacionados ao planejamento, execução e manutenção das obras, buscando identificar a solução que apresente o melhor equilíbrio entre eficiência e custo-benefício.



2 Referencial Teórico

2.1 Conceitos e Definições

A estabilidade de taludes é um elemento importante para projetos que envolvem aterros, encostas e os taludes formados na implantação de obras de terraplenagem nas ferrovias. Segundo Terzaghi et al. (1996), a estabilidade de taludes é influenciada por diversos fatores, tais como as características geotécnicas do solo, a presença de água, a inclinação do talude, as ações externas e a interação entre esses elementos.

Segundo Infanti Jr. e Fornasari Filho et al. (1998), os movimentos de massa podem ser classificados como escorregamentos (planares, circulares ou em cunha), movimentos de blocos (queda, tombamento, rolamento ou deslocamento) ou corridas (de lama ou de detritos).

“Os escorregamentos são movimentos de massa rápidos, com superfície de ruptura bem definida. A deflagração do movimento ocorre quando as tensões cisalhantes mobilizadas na massa de solo atingem a resistência ao cisalhamento do material. Tanto em solos como em rochas, a ruptura se dá pela superfície que apresenta menor resistência.” (GERSCOVICH, 2016).

2.2 Métodos de Contenção de Taludes

2.2.1 Solo Reforçado com Geossintéticos e Sistema de Faceamento Externo em Sacos de Ráfia

Solo reforçado com geossintéticos e sistema de faceamento externo em sacos de rafia preenchido com escória de aciaria é uma solução alternativa e de baixo custo para a contenção de taludes. Essa técnica envolve o uso de sacos de rafia resistentes preenchidos com esse material e sua aplicação consiste na disposição dos sacos em camadas ao longo da face do talude, formando uma estrutura compacta que proporciona estabilidade e evita deslizamentos. A combinação do peso dos sacos e o atrito entre as partículas da escória confere resistência ao talude. As vantagens incluem também simplicidade de execução e flexibilidade, adaptando-se a diferentes condições de taludes. A estrutura do faceamento com sacos de rafia está apresentada na Figura 2, de autoria própria.

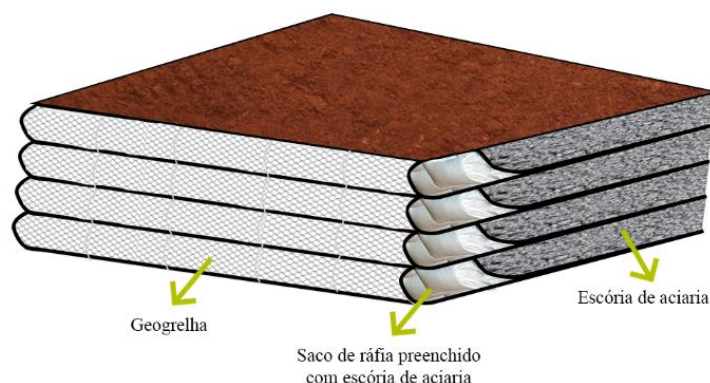


Figura 2. Sistema de contenção em solo reforçado com geossintéticos e sistema de faceamento externo em sacos de rafia

2.2.2 Solo Reforçado com Geossintéticos e Sistema de Faceamento Externo em Strataslope

Solo reforçado com geossintéticos e sistema de faceamento externo em Strataslope é um sistema de contenção que utiliza elementos de face compostos por telas soldadas especialmente protegidas contra corrosão, dobradas em “L”, com um elemento de filtro. Cada módulo possui 2,0 m de largura e 0,50 m de altura e é preenchido e compactado mecanicamente com brita, solo local, concreto, ou com materiais alternativos como agregados reciclados (RCD), podendo se estender a escória de aciaria, como vem pesquisando o grupo Infrageo, conforme apresentado por Oliveira e Ramos (2017) e por Gonçalves e Batista (2019). Além de ser eficiente, esta solução é econômica, sustentável e de alta produtividade. A montagem deste sistema se inicia com a regularização da base e posicionamento, instalação e alinhamento dos módulos na face. Na sequência é instalada a geogrelha, simplesmente com o desenrolar da bobina e a fixação no solo.



O preenchimento dos módulos ocorre de forma mecanizada usando retroescavadeira e mini carregadeiras (bobcat). Após, é realizada a compactação pesada junto a face com a utilização de placa vibratória ou rolos. Por fim, é feito o preenchimento do maciço de solo e compactação de toda a camada de aterro, preparando para início de uma nova camada (GEOSOLUÇÕES, 2023). A estrutura do Strataslope está apresentada na Figura 3, adaptado de Geosoluções (2023).

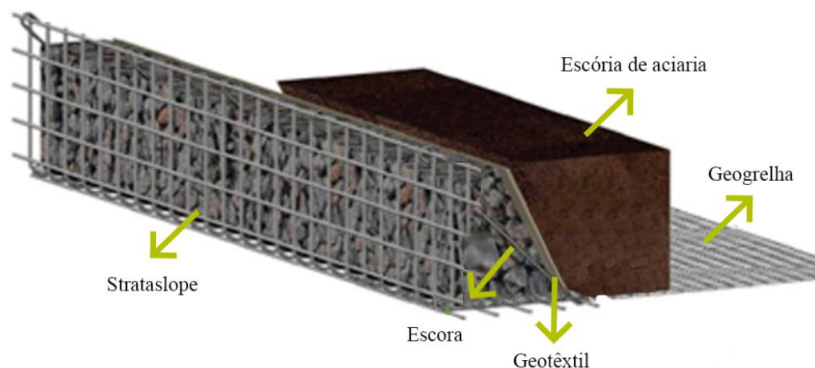


Figura 3. Sistema de contenção Strataslope revestido com solo

2.2.3 Cortina Atirantada

Segundo Faiçal Massad (2010, pag. 101), as cortinas atirantadas são constituídas de placas de concreto de pequenas dimensões com tirantes protendidos, que contribuem para o aumento da resistência ao cisalhamento do solo com um aumento da tensão normal atuante ao longo da linha de ruptura. O processo executivo envolve a perfuração do solo, introdução do tirante e injeção de nata de cimento para formar o bulbo de ancoragem. Após endurecimento da nata, os cabos do tirante são protendidos e ancorados junto às placas de concreto. Para aliviar os efeitos de pressões neutras, é necessário incluir um sistema de drenagem à estrutura. Os custos de obra são muito elevados, e a execução demanda tempo e requer pessoal e equipamentos especializados, mas torna-se uma estrutura extremamente estável quando bem dimensionadas. A estrutura da cortina atirantada está apresentada na Figura 4, da Prefeitura Municipal de São Gonçalo (2019).

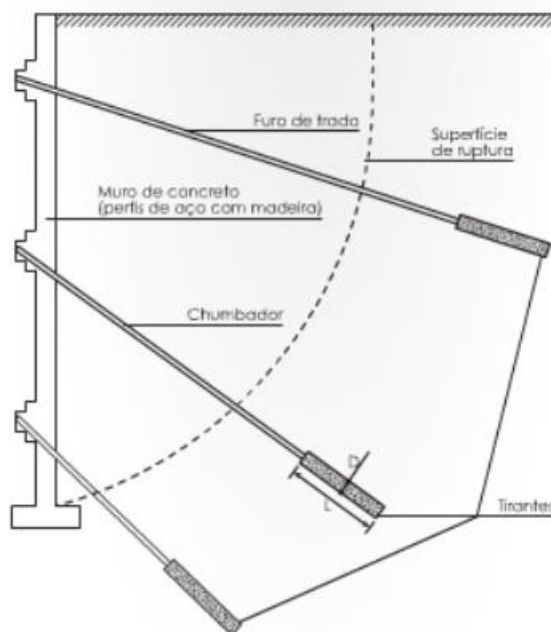


Figura 4. Cortina atirantada



2.2.4 Terramesh

Segundo Azfil S.A. (2016), o Terramesh consiste numa estrutura criada pelo intertravamento e atrito das partículas de solo com os reforços de tela em malha hexagonal de dupla torção, formando um maciço de solo reforçado, resistente a impulsos gerados pelo terrapleno a ser contido. A tela de reforço ancorada no terrapleno, utiliza as próprias propriedades mecânicas do aterro para realizar a contenção. A solução pode ser realizada de duas formas: com paramento de face em pedras, denominado Terramesh System ou em revestimento vegetal, pela utilização de telas e mantas biodegradáveis, conhecido como Terramesh Verde. Para o estudo em questão, será avaliado o Terramesh System, com faceamento preenchido com brita, que garante flexibilidade, permeabilidade, simplicidade construtiva, versatilidade e baixo impacto ambiental. (AGNOLETTO, 2018). A estrutura do Terramesh está apresentada na Figura 5, adaptado de Geosoluções (2023).

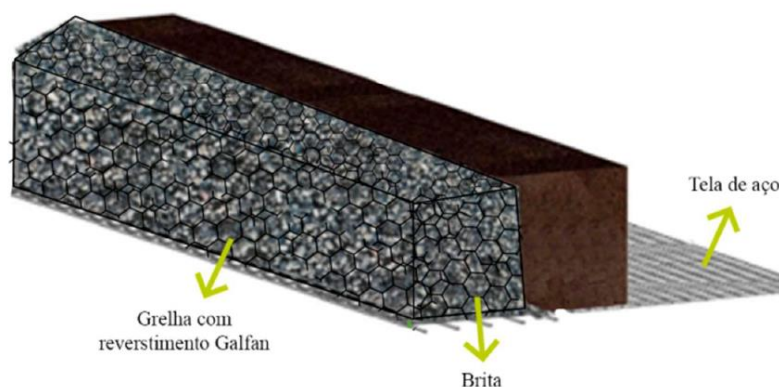


Figura 5. Terramesh

3 Metodologia

Com o objetivo de realizar uma análise comparativa abrangente, a metodologia adotada baseia-se em um *scorecard*, desenvolvido para essa situação, composto por três pilares fundamentais: técnico, insumos e custo, conforme Figura 6, de autoria própria.

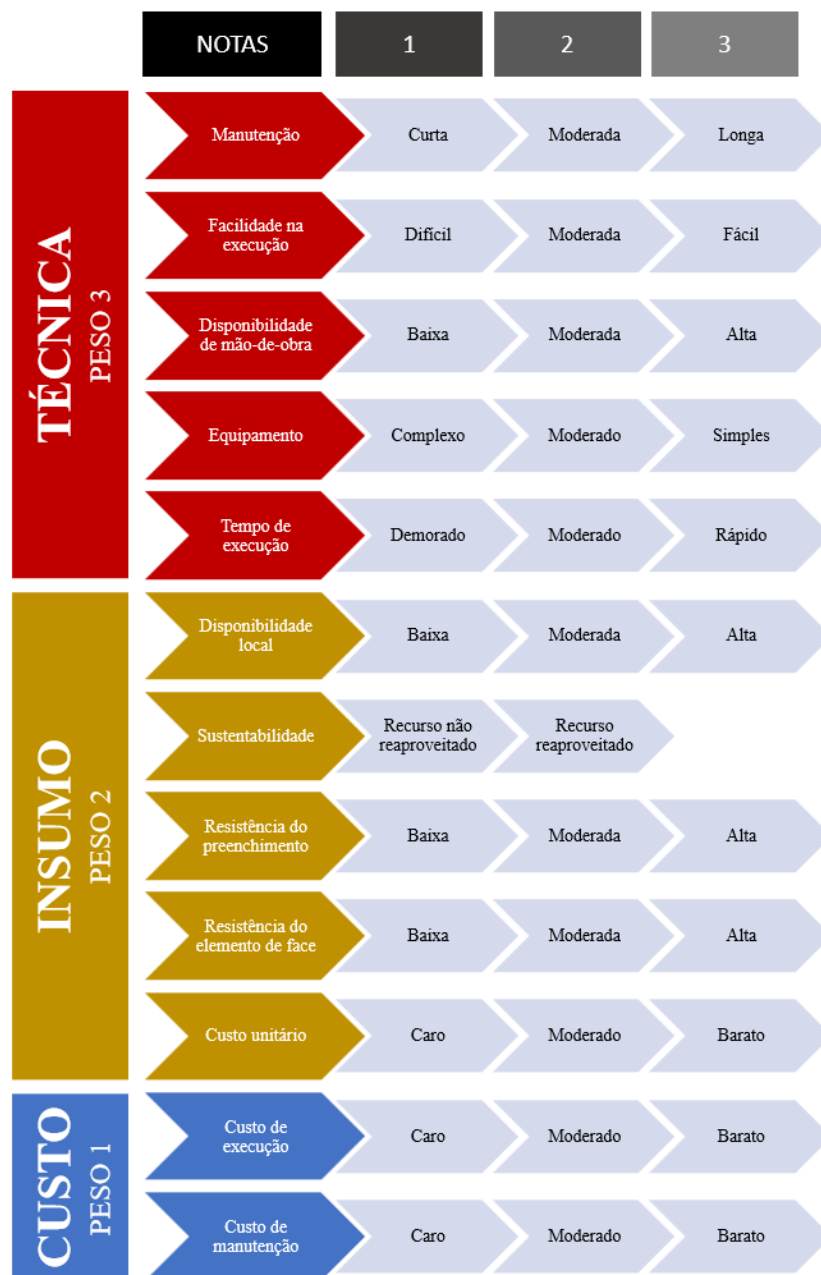


Figura 6. Critérios do *scorecard*.

Dado o contexto de taludes ferroviários e a possibilidade iminente de interrupção do fluxo de trens, cada um desses pilares será avaliado levando em consideração a necessidade de uma recuperação ágil. Isso garantirá a correção eficiente do problema afetado e a prevenção de futuros incidentes, assegurando as operações ferroviárias.

3.1 Análise Técnica

A análise técnica da metodologia é embasada em cinco pilares essenciais: manutenção, facilidade de execução, disponibilidade de mão-de-obra, equipamentos e tempo de execução. Esses pilares serão avaliados criteriosamente a fim de determinar a eficácia e a viabilidade das soluções de contenção de taludes em estudo.

O Strataslope, além de ser uma solução eficiente para a contenção de taludes, também se destaca por sua economia, sustentabilidade e alta produtividade. A utilização das telas soldadas protegidas contra corrosão garante a durabilidade e a resistência do sistema. A flexibilidade na escolha do material de preenchimento



permite adaptar a solução às condições do local, utilizando recursos disponíveis no próprio ambiente. A escolha pelo StrataSlope como técnica de contenção de taludes apresenta benefícios econômicos, uma vez que o sistema é mais econômico em relação a outras soluções tradicionais de contenção. Segundo GeoSoluções (2023), outro destaque do StrataSlope é a alta produtividade que o sistema oferece, de 30 a 50 m²/dia. Com sua instalação simplificada e o uso de módulos padronizados, o processo de construção se torna mais rápido e eficiente, resultando em um cronograma de obra otimizado.

Para a cortina atirantada, por sua vez, possui manutenção realizada em períodos curtos, pois existe a necessidade de monitoramento anual e eventual substituição da ponta dos tirantes devido ao seu deterioramento ao longo do tempo. Essa manutenção periódica é essencial para garantir a estabilidade contínua da estrutura de contenção. Em relação à execução, apresenta uma dificuldade moderada, pois, embora não exija mão de obra especializada para sua implementação, é necessário o uso de equipamentos especiais para a perfuração dos furos no talude e o tensionamento das barras metálicas que compõem os tirantes. Segundo Ritter e Morgado (2017), para fins de tensionamento e cravação dos tirantes, usam-se conjuntos de protensão com bomba e macaco de acionamento hidráulico, que por sua vez são equipamentos robustos e são utilizados para garantir a correta fixação e tensionamento dos elementos. Devido à complexidade da perfuração e tensionamento das barras metálicas, o tempo de execução da cortina atirantada pode ser considerado demorado em comparação a outras técnicas de contenção de taludes, tornando-se necessário um planejamento adequado, considerando os prazos para a execução dos furos, a instalação dos tirantes e a aplicação dos demais componentes da cortina atirantada. Por outro lado, a cortina atirantada oferece diversas vantagens que devem ser consideradas na análise de sua viabilidade. Essa técnica de contenção de taludes apresenta alta eficiência na estabilização de encostas íngremes ou com problemas de instabilidade mais críticos, proporcionando uma solução mais robusta para mitigar os riscos de deslizamentos e colapsos. Outro aspecto relevante é a flexibilidade da cortina atirantada, que pode ser adaptada a diferentes condições geotécnicas e geometrias de taludes. Isso permite sua aplicação em uma variedade de projetos, desde obras de grande porte até intervenções em áreas urbanas. Apesar do tempo de execução mais longo em comparação a outras técnicas, a cortina atirantada oferece resultados duradouros e efetivos. O uso de equipamentos especiais garante a correta fixação dos tirantes, conferindo estabilidade à estrutura de contenção.

Solo reforçado com geossintéticos e sistema de faceamento externo em sacos de ráfia preenchido com escória da aciaria é uma solução eficiente, sustentável e ágil para a contenção de taludes. Um aspecto importante a ser considerado é a manutenção, é recomendado inspeções anuais, para garantir a integridade e eficácia da estrutura. A execução dessa técnica apresenta uma complexidade moderada, pois embora não exija mão de obra especializada, é importante seguir algumas diretrizes específicas para garantir a correta instalação. A disposição adequada dos sacos de ráfia, sob as geogrelhas, ao longo do talude e o correto preenchimento com escória são essenciais para obter a estabilidade desejada. Uma vantagem significativa dessa técnica é que não são necessários equipamentos especiais para sua implementação. A disposição e fixação dos sacos de ráfia podem ser realizadas manualmente, o que reduz os custos e a dependência de equipamentos específicos. Isso a torna uma opção viável e acessível em diferentes cenários geotécnicos. É importante ressaltar que, a manutenção é necessária de acordo com a criticidade analisada nas inspeções, e geralmente envolve a reposição de sacos danificados ou desgastados e a verificação da estabilidade global da estrutura. Essas atividades podem ser realizadas com facilidade e sem a necessidade de intervenções complexas.

No contexto da análise técnica, o Terramesh se destaca em uma das principais vantagens: a sua flexibilidade, permitindo a adaptação a diferentes condições geotécnicas, como variações de inclinação, tipo de solo e nível de compactação. Outro aspecto relevante do Terramesh é a sua durabilidade e baixa necessidade de manutenção. Os materiais utilizados na sua fabricação possuem resistência à corrosão e ao desgaste, para promover 120 anos de vida útil (MACCAFERRI, 2023). Além disso, o sistema permite a fácil inspeção e monitoramento, possibilitando uma detecção precoce de quaisquer problemas e a implementação de medidas corretivas adequadas.

3.2 Análise de Insumos

A análise dos insumos é uma etapa fundamental na escolha da solução de contenção de taludes, e será embasada em cinco pilares principais: disponibilidade no local, sustentabilidade, resistência, elemento de face e custo por m³. Esses pilares serão cuidadosamente considerados para determinar a adequação dos insumos utilizados nas soluções em estudo.



A análise dos insumos utilizados no StrataSlope revela particularidades essenciais a serem consideradas. Quanto à disponibilidade, observa-se uma escassez relativa, podendo requerer esforços adicionais para a obtenção das telas soldadas necessárias, além de ser uma técnica específica e recente no mercado. No quesito sustentabilidade, há a possibilidade de utilizar insumos alternativos para seu preenchimento, como a escória de aciaria, contribuindo para a redução de resíduos e a preservação do meio ambiente, assim como a solução com o saco de rafia e o Terramesh. Além disso, a grelha utilizada possui uma resistência suficiente para assegurar a estabilidade e o suporte estrutural necessários. No aspecto financeiro, o custo por metro cúbico (m^3) é favorável, tornando a solução de contenção mais acessível economicamente.

Já para a cortina atirantada, no que diz respeito à disponibilidade local, destaca-se uma oferta abundante dos insumos necessários, o que facilita a obtenção dos recursos necessários para a execução da técnica. Entretanto, em relação à sustentabilidade, é importante reconhecer que os insumos utilizados não se destacam por suas características sustentáveis. No que tange à resistência dos insumos, observa-se uma elevada capacidade de suporte estrutural, conferindo robustez e estabilidade à cortina atirantada. Além disso, a envoltória de concreto armado possui uma resistência elevada, fornecendo uma barreira sólida e robusta para a contenção do talude. Em relação aos custos, é importante considerar que a cortina atirantada apresenta um custo por metro cúbico (m^3) mais elevado. Isso se deve, em parte, aos insumos específicos utilizados, como o concreto armado e o aço protendido.

Por sua vez, o saco de rafia preenchido com escória da construção civil, em relação à disponibilidade local dos insumos, observa-se uma condição favorável, uma vez que o saco de rafia é encontrado com abundância no mercado da região. Além disso, é importante destacar que a utilização da escória promove uma alta sustentabilidade, pois representa um reaproveitamento de um resíduo da indústria da construção civil, contribuindo para a redução de impactos ambientais. Quanto à resistência dos insumos, é necessário considerar a variabilidade do preenchimento dos sacos de rafia com escória. É essencial garantir um preenchimento adequado e compactação eficiente para assegurar a estabilidade do talude. Além disso, é importante ressaltar que o custo por metro cúbico dessa técnica é baixo, tornando-a uma opção atrativa do ponto de vista econômico. Portanto, a análise dos insumos do saco de rafia preenchido com escória da construção civil destaca não apenas a disponibilidade e sustentabilidade, mas também a importância de considerar a resistência dos insumos e os aspectos econômicos. Com essas informações, é possível avaliar a viabilidade dessa solução como uma alternativa de baixo custo e ambientalmente responsável para a contenção de taludes.

Por fim, o Terramesh se destaca como uma solução de estabilização de taludes que utiliza componentes de alta qualidade e durabilidade. O sistema é composto por painéis de malha de arame revestido por uma liga galvanizada, composta de zinco e alumínio, que proporcionam maior resistência à corrosão em relação ao aço galvanizado, minimizando o desgaste causado pelos elementos ambientais. Essa proteção contra a deterioração garante a integridade estrutural e a longevidade do Terramesh. A utilização da escória de aciaria é uma opção para reduzir o impacto ambiental e promover a economia do local da obra. A combinação dos insumos de alta resistência dos painéis com o preenchimento adequado confere ao sistema uma capacidade robusta para resistir a pressões do solo, movimentos de massa e, para Souza (2017), garante a segurança estrutural em caso de incêndio nas proximidades, pois até os reforços sintéticos ficam protegidos pelo paramento de malha metálica.

3.3 Análise Financeira

A análise detalhada do custo geral de obra, contemplando os custos de implantação e de manutenção, é fundamental para tomar decisões embasadas economicamente e garantir a sustentabilidade financeira do projeto de contenção de taludes. Através dessa análise, será possível identificar a solução mais econômica e eficiente para atender aos requisitos técnicos e financeiros do estudo.

No caso do StrataSlope, destaca-se um custo de implantação da obra baixo, o que pode ser vantajoso do ponto de vista econômico. No entanto, é importante considerar que o custo de manutenção é moderado, pois a periodicidade das inspeções e eventuais reparos podem exigir investimentos ao longo do tempo.

Já a cortina atirantada apresenta um cenário distinto, com um custo de implantação mais alto em comparação às outras técnicas. No entanto, essa despesa inicial é compensada por um custo de manutenção mais baixo. A necessidade de intervenções periódicas é menor, o que resulta em economias a longo prazo.

No caso do saco de rafia preenchido com escória da construção civil, observa-se um custo moderado tanto para a implantação quanto para a manutenção. Essa técnica pode ser atrativa em termos financeiros, pois



oferece uma solução de contenção de custo acessível e com requisitos de manutenção que não são excessivamente onerosos.

Já o Terramesh apresenta uma vantagem significativa. Os painéis de malha de arame galvanizado são fabricados em larga escala, o que contribui para reduzir os custos de produção e fornecimento. Além disso, a facilidade de instalação do sistema permite uma execução mais rápida e eficiente, o que resulta em economia de tempo e mão de obra. Sua durabilidade e resistência à corrosão reduzem a necessidade de manutenção frequente. Além disso, a possibilidade de realizar inspeções regulares e monitoramento permite a detecção precoce de qualquer problema, possibilitando intervenções pontuais e evitando gastos excessivos com reparos ou substituições.

3.4 Quadro de Notas

Para cada uma das análises, os tópicos a serem avaliados receberam notas que variam de 1 a 3, sendo 1, resultado desfavorável, e 3, resultado favorável. O resultado final é o somatório de notas de cada análise, multiplicado por um fator de peso, que foi definido da seguinte forma:

Como estudo em questão busca a solução ágil para a contenção de queda de taludes, a técnica a ser utilizada é considerada como a variável principal, visto que o processo precisa ser confiável, no menor tempo possível e aderente aos requisitos de estabilidade do solo. Sendo assim, a análise técnica possui peso 3.

Quanto aos insumos, não há especificidades bem definidas. Devido a região de localização do incidente, fornecedores de diversos tipos materiais (metais, concreto, brita, entre outros) podem contribuir com orçamentos de entrega dos insumos para a execução da obra. Entretanto, a resistência de cada insumo precisa ser estudada e analisada, e suas aplicações precisam ser aderentes ao projeto concebido. Logo, a análise de insumos possui peso 2.

Por sua vez, a análise financeira para o caso de incidentes em linhas ferroviárias que têm grande potencial de paralisação da circulação de trens, os custos não deve ser um fator inibidor da escolha de uma solução, mas que ainda precisa ser analisado, evitando paralisação da execução da obra. Por todas essas observações levantadas, a análise financeira possui peso 1.

4 Resultados

4.1 Resultados da Análise Técnica

A Tabela 1 apresenta os resultados optivos pela análise comparativa técnica das soluções propostas para a estabilização de taludes ferroviários.

Tabela 1. Resultados da análise técnica.

Solução	Técnica				
	Manutenção	Facilidade na execução	Disponibilidade de mão-de-obra	Equipamentos	Tempo de execução
StrataSlope	1	3	2	3	3
Saco de ráfia	2	2	3	3	2
Cortina atirantada	1	2	3	1	1
Terramesh	3	3	2	2	2

4.2 Resultados da Análise de Insumos

A análise comparativa dos insumos necessários para execução de cada uma das soluções propostas é apresentado pela Tabela 2.



Tabela 2. Resultados da análise de insumos.

Solução	Insumos				
	Disponibilidade local	Sustentabilidade	Resistência	Elemento de face	Custo por m ³
StrataSlope	1	2	2	2	3
Saco de ráfia	2	2	2	2	3
Cortina atirantada	3	1	3	2	1
Terramesh	2	2	2	2	2

4.3 Resultados da Análise Financeira

Para a análise financeira de cada solução, tem-se o resultado na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados da análise financeira.

Solução	Financeira	
	Custo de execução	Custo de manutenção
StrataSlope	2	2
Saco de ráfia	3	2
Cortina atirantada	1	3
Terramesh	2	3

4.4 Resultados Totais

Para a obtenção dos resultados finais na Tabela 4, foi feito a soma das notas dos pilares de cada solução, multiplicado pelo seu devido peso, conforme metodologia aplicada.

Tabela 4. Resultados totais.

Solução	Total Técnica	Total Insumos	Total Financeiro	Total Geral
StrataSlope	12	10	4	60
Saco de ráfia	12	11	5	63
Cortina atirantada	8	10	4	48
Terramesh	12	10	5	61

5 Conclusão

A partir dos resultados obtidos e considerando a especificação do estudo para a estabilização de taludes ferroviários, com base no problema apresentado para Alfredo Vasconcelos, conclui-se que o saco de ráfia, o Strataslope e o Terramesh têm uma grande vantagem em relação à cortina atirantada, apesar da utilização frequente dessa última solução pela empresa ferroviária local. Tal vantagem está relacionada à utilização da técnica de solo reforçado e aos insumos, execução e equipamentos necessários.

Entre o strataslope, saco de ráfia e Terramesh, há uma pequena diferença de pontuação na apuração, o que indica que possuem custo-benefício similares. Contando que os sacos de ráfia são comuns no território brasileiro, e que o faceamento em Strataslope e Terramesh são soluções inovadoras e recentes no mercado, as últimas apresentam um maior potencial de desenvolvimento, embora a primeira apresenta uma disponibilidade maior para os insumo, tornando a técnica mais acessível.

A cortina atirantada, por sua vez, é amplamente utilizada em obras de infraestrutura de maior porte, porém, considerando o cenário de paralisação da circulação de trens na ferrovia, torna-se uma técnica desvantajosa, devido ao seu longo tempo de execução.

Por fim, o estudo apresenta parâmetros que podem ser utilizados para avaliação das soluções levantadas e de outras que também podem ser utilizadas. Contudo, casos específicos precisam ser analisados e fatores



externos podem impactar diretamente a tomada de decisão, que por sua vez, precisa atingir o objetivo final: garantir a estabilidade do talude.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agnoletto, T. F. *Modelagem de Estrutura de Contenção de Solo Reforçado do Município de Redentora-RS*. Orientador: Carlos A. S. P. Wayhs. 2018. 86. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí. 2018. Acesso em: 01 jul. 2023.
- ArcelorMittal. *Escória de Alto-Forno*. Filho, P. A. de C. Disponível em: <<https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/coprodutos/coprodutos/escoria-alto-forno>>. Acesso em 01 jun. 2023.
- Azfil S.A. *Terramesh*. Azfil S.A., 2016. Disponível em: <<https://azfil.pt/pt/terramesh>>. Acesso em 05 jun. 2023.
- Barros, P. L. A. et al. *Obras de Contenção: Manual Técnico*. Maccaferri do Brasil. Disponível em: <<https://www.maccaferri.com/br/>>. Acesso em: 05 jul. 2023.
- Batista, S. E.; Gonçalves, A. H. R. *Avaliação dos Deslocamentos de uma Estrutura de Solo Reforçado com Geossintético (EERG)*. Orientador: Tales M. Oliveira. 2019. 73. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco. 2019. Acesso em: 01 jul. 2023.
- Brazabe. *Entenda mais sobre a técnica de Rip Rap*. Brazabe Construções e Serviços, 2021. Disponível em: <<https://brazabe.com.br/o-que-e-rip-rap>>. Acesso em 01 jun. 2023.
- Duncan, J.M., and Wright, S.G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*. 2nd ed. New York: Wiley.
- Geosoluções. *Sistema de contenção StrataSlope*. Geosoluções, 2023. Disponível em: <<https://www.geosolucoes.com>>. Acesso em 01 jun. 2023.
- Geosoluções. *Strateslope: Mecanizado, rápido e seguro*. Geosoluções, 2023. Disponível em: <<https://www.geosolucoes.com/strataslope-system>>. Acesso em 28 abr. 2023.
- Gerscovich, D. M. S. *Estabilidade de Taludes*. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- Infanti Jr., N.; Fornasari Filho, N. *Processos de Dinâmica Superficial*. In: Oliveira, A. M. dos S.; Brito, S. N. A de. (Ed.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.
- Maccaferri do Brasil. *Terramesh*. Maccaferri do Brasil, 2023. Disponível em: <<https://www.maccaferri.com/br/produtos/terramesh-3>>. Acesso em: 05 jun. 2023.
- Massad, F. *Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia*. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- MC Engenharia. *Muro de Contenção em Terramesh*. MC Engenharia, 2023. Disponível em: <<https://mcengenhariabrasil.com.br/solucoes/terramesh>>. Acesso em: 05 jun. 2023.
- Oliveira, L. A.; Ramos, R. C. *Proposta de um Novo Sistema de Contenção Denominado como Fôrma Tubular de Escória e GSY*. Orientador: Tales M. Oliveira. 2017. 108. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco. 2017. Acesso em: 01 jul. 2023.
- Secretaria de Compras e Suprimentos. *Especificação Técnica e Memorial Descritivo: Muro de Contenção da Estabilidade do Talude do CIE*. Prefeitura Municipal de São Gonçalo, 2019. Disponível em: <https://licitacao.pmsg.rj.gov.br/download.php?idf_1=1321>. Acesso em: 05 jul. 2023.
- Ramos, G. M. P. D.; Freire, G. J. M.; Ferreira, J. R.; Ramos, R. M. C. *Contenção de Talude com Uso de Solo-cimento Ensacado: Projeto em Área de Interesse Social*. Ourinhos, 2019.
- Ritter, M.; Morgado, R. dos S. *Estabilização de Taludes com Cortina Atirantada*. Orientadora: Maria Esther Soares Marques. 2017. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Engenharia de Fortificação e Construção, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. Disponível em:



<<https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/7813/1/PFC%20-%202017%20-%201%20BA%20Ten%20Morgado%20e%201%20BA%20Ten%20Ritter.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2023.

Santos, A. *Estrutura de Contenção em Solo Reforçado com Geogrelha*. Orientador: Ribamar J. Gomes. 2004. 29. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Itatiba. 2004. Acesso em: 01 jul. 2023.

Souza, T. E. S. *Modelagem de Estrutura de Contenção em Solo com Sistema Terramesh*. Orientador: Carlos A. S. P. Wayhs. 2017. 73. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí. 2017. Acesso em: 01 jul. 2023.

Tamoios. *CREA e CONFEA acompanham avanço das obras de duplicação de Tamoios*. Tamoios, 2019. Disponível em: <<https://www23.concessionariatamoios.com.br/noticias/show/869/crea-e-confea-acompanham-avanco-das-obras-de-duplicacao-da-tamoios>>. Acesso em 01 jun. 2023.

Terzaghi, K., Peck, R.B., Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3rd ed. New York: Wiley.

Wasaki Engenharia. *Quando Utilizar a Contenção em Terramesh?*. Wasaki Engenharia, 2023. Disponível em: <<https://wasaki.com.br/quando-utilizar-a-contencao-em-terramesh>>. Acesso em: 05 jun. 2023.