XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8418

Uso de Soluções Baseadas na Natureza no aumento da segurança de encostas: Estudo de Caso em Ilhéus-BA

Use of Nature-Based Solutions to Improve Slope Safety: A Case Study in Ilhéus-BA

Bianca Santos Bispo dos Anjos
Universidade Estadual de Santa Cruz| Ilhéus | Brasil | bsbanjos.egc@uesc.br
Camille Maria Lino dos Santos Gentil
Universidade Estadual de Santa Cruz | Ilhéus | Brasil | cmlsgentil.egc@uesc.br
Joel Pereira Felipe
Universidade Federal do Sul da Bahia| Ilhéus | Brasil | joel.felipe@ufsb.edu.br
Cleverson Alves de Lima
Universidade Estadual de Santa Cruz| Itabuna | Brasil | clalima@uesc.br
Julia Ramos Fernandes
Universidade Estadual de Santa Cruz| Itabuna | Brasil | jrfernandes.egc@uesc.br
Cleomaria da Mata Macedo
Universidade Estadual de Santa Cruz | Ilhéus | Brasil | cmmacedo.egc@uesc.br

Resumo

Este estudo analisa os resultados pós aplicação de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) para a estabilização de uma encosta em Ilhéus/BA, sob a ótica da construção de cidades resilientes e da adaptação climática. O objetivo foi validar a eficácia técnica e ambiental de um sistema integrado de SBN como alternativa à engenharia convencional. A metodologia incluiu sondagem, levantamento topográfico e modelagem computacional da estabilidade, adotando diversas práticas de SBN como: superadobe, paliçadas, grampeamento biológico com capim vetiver e monitoramento microclimático. Os resultados demonstraram uma elevação significativa do Fator de Segurança (FS), saltando de 1,298 global para índices de 1,508 na ruptura superior e 2,140 na base, além de melhorias no conforto térmico e umidade local. Conclui-se que as SBN aumentam a resiliência urbana ao transformarem áreas de risco em espaços seguros e saudáveis, conciliando estabilidade geotécnica, regeneração ambiental e inclusão social frente aos desafios do aquecimento global.

Palavras-chave: Soluções Baseadas na Natureza; Bioengenharia de Solos; Cidades Resilientes; Estabilidade de Encostas; Capim-Vetiver; Adaptação Climática.

Abstract

This study analyzes the results after applying Nature-Based Solutions (NBS) for slope stabilization in Ilhéus/BA, from the perspective of building resilient cities and climate adaptation. The objective was to validate the technical and environmental effectiveness of an integrated NBS system as an alternative to conventional engineering. The methodology included soil investigation, topographic survey, and computational stability modeling, adopting

various NBS practices such as: superadobe, palisades, biological anchoring with vetiver grass, and microclimatic monitoring. The results demonstrated a significant increase in the Factor of Safety (FS), jumping from 1.298 globally to 1.508 at the top of the slope and 2.140 at the base, in addition to improvements in thermal comfort and local humidity. It is concluded that NBS increase urban resilience by transforming risk areas into safe and healthy spaces, reconciling geotechnical stability, environmental regeneration, and social inclusion in the face of the challenges of global warming.

Keywords: Nature-Based Solutions; Soil Bioengineering; Resilient Cities; Slope Stability; Vetiver Grass; Climate Adaptation.

INTRODUÇÃO

O agravamento do aquecimento global tem imposto desafios sem precedentes à gestão municipal, exigindo que o planejamento urbano incorpore de forma urgente a ótica da adaptação climática para a construção de cidades resilientes. Uma cidade resiliente não é apenas aquela que resiste aos impactos de eventos extremos, mas a que possui a capacidade de absorver as pressões de desastres, adaptar-se continuamente e transformar as suas estruturas para reduzir as vulnerabilidades da sua população [1]. Essa transformação envolve uma profunda compreensão das interações entre a sociedade e a natureza, reconhecendo que a degradação dos ecossistemas urbanos potencializa as ameaças socioambientais [2]. No Brasil, essa necessidade de readequação e aumento da resiliência das cidades encontra respaldo na Política Nacional sobre Mudança do Clima, a qual estabelece que as políticas públicas devem promover medidas que reduzam a vulnerabilidade dos sistemas ambientais e sociais face aos efeitos adversos do clima [3].

Nesse contexto, as Soluções Baseadas na Natureza (SBN) emergem como instrumentos para o cumprimento da função social da cidade. Ao integrarem infraestrutura verde e azul, promovem o equilíbrio ecossistêmico e oferecem benefícios multifuncionais, como a melhoria do microclima e do conforto térmico, resultando em eficiência energética e prevenção de desastres geodinâmicos [4]. Sob essa perspectiva jurídica e socioambiental, as SBN deixam de ser uma escolha meramente paisagística e passam a ser um instrumento de resiliência urbana e social. A eficácia das SBN para a estabilização de encostas tem sido amplamente documentada na literatura científica internacional. Estudos recentes de modelagem numérica computacional e ensaios laboratoriais demonstram que o sistema radicular do Capim-Vetiver (Chrysopogon zizanioides) aumenta consistentemente a coesão efetiva e o ângulo de atrito interno do solo, resultando em incrementos significativos no Fator de Segurança calculados por métodos de equilíbrio limite e Elementos Finitos [5][6].

O projeto foi desenvolvido no Alto do Coqueiro, em Ilhéus-BA, insere-se como uma busca por resiliência urbana em territórios vulneráveis, aplicando a técnica em territórios vulneráveis em locais com Grau de Risco R2 (risco médio). O risco R2 indica instabilidade inicial, com sinais visíveis de erosão e trincas, representando o ponto ideal para intervenções preventivas, que, diferente do R3 (Alto) ou R4 (Muito Alto), que exigem obras estruturantes pesadas e custosas de engenharia [7]. O foco no R2

permite a aplicação de tecnologias de baixo custo e impacto financeiro, controlando as condicionantes para não evoluir para graus elevados e garantindo a segurança habitacional em uma abordagem financeiramente viável. Nesse cenário, as SBN emergem como uma estratégia para a estabilização das encostas, utilizando processos e estruturas ecossistêmicas para enfrentar os desafios de deslizamentos e erosão.

A viabilidade técnica das intervenções em assentamentos precários é sustentada por um portfólio diversificado de SBN, que operam de forma sinérgica para garantir a estabilidade física, o equilíbrio ecossistêmico e a resiliência hídrica do território. O conceito de SBN abrange sistemas aplicados no lote e edificações, como os telhados verdes e paredes vivas, que atuam no isolamento térmico e no retardo do escoamento pluvial, até intervenções de microdrenagem urbana, como os jardins de chuva, biovaletas e pavimentos permeáveis [4].

No contexto específico de encostas e áreas de transição, são complementadas por técnicas de bioengenharia que visam o controle geotécnico e erosivo de baixo impacto, destacando as paliçadas de contenção, construídas com materiais naturais dispostos em curvas de nível para segmentar a declividade e reduzir a energia cinética das águas; enquanto o Capim-Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) atua como elemento de reforço profundo, fornecendo um "grampeamento vivo" por meio de seu sistema radicular, aumentando a resistência ao cisalhamento do solo [8].

Além do manejo hídrico e vegetal, as SBN incorporam métodos construtivos de baixo carbono, como o Superadobe, que utiliza a compressão de solo local para a criação de barreiras de gravidade e mobiliário urbano, eliminando a dependência de concreto e aço [9]. A integração dessas variadas técnicas demonstra que a utilização de processos ecossistêmicos oferece uma alternativa robusta, econômica e multifuncional para a mitigação de riscos climáticos, promovendo não apenas a segurança, mas também a melhoria do microclima e da eficiência energética urbana [10].

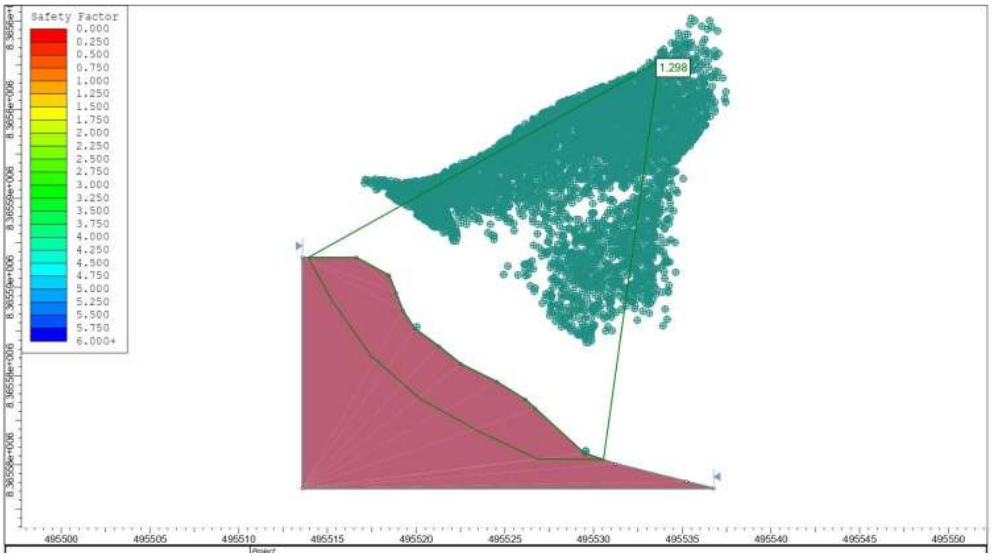
METODOLOGIA

A investigação do subsolo foi realizada por sondagem à percussão SPT (Standard Penetration Test), conforme NBR 6484:2020, e levantamento topográfico com tecnologia RTK (Real Time Kinematic), conforme NBR 13133:2021. A sondagem revelou um perfil estratigráfico composto predominantemente por solo residual argiloso, com índice NSPT variando entre 4 e 8 golpes nos primeiros 3,0 metros de profundidade, indicando consistência mole a média. A partir desse perfil e de correlações empíricas consagradas para solos tropicais, os parâmetros geomecânicos adotados para a matriz de solo no estado natural foram: peso unitário de 18 kN/m³, critério de ruptura de Mohr-Coulomb, coesão de 10 kPa e ângulo de atrito interno de 28°. Esses valores são compatíveis com solos argilosos residuais de encostas em clima tropical úmido e estão em conformidade com os limites típicos adotados em estudos de estabilidade para a região [5][11].

A modelagem inicial de estabilidade foi executada no software Rocscience Slide, utilizando o método de equilíbrio limite Bishop Simplificado, amplamente validado

para análise de taludes com superfícies de ruptura rotacional. Como critério de busca da superfície crítica de ruptura, aplicou-se o método de varredura circular de grade (Grid Search) acoplado ao algoritmo de otimização de estiramento de linha (Path Search), assegurando a identificação precisa do mecanismo de falha com menor Fator de Segurança. A convergência do modelo foi verificada pela estabilidade do FS mínimo entre iterações sucessivas, com critério de tolerância de 0,001. Esta análise revelou um FS inicial de 1,298, indicando condição de estabilidade marginal segundo as diretrizes da NBR 11682:2009.

Figura 1: Análise computacional de estabilidade da encosta pré-intervenção.



Fonte: autores (2026)

Com base nesse cenário, foram selecionadas SBN's que integram reforço biotecnológico, controle erosivo e estabilização mecânica. Após a definição das intervenções, uma nova modelagem computacional simulou a interação das soluções com o maciço para obter novo FS, incorporando os ganhos de resistência.

Complementarmente, realizou-se o monitoramento comparativo microclimático para avaliar o impacto microclimático das SBN, com com termohigrômetro digital Uni-T UT333 BT, equipado com sensor capacitivo de alta estabilidade para umidade relativa e termistor de coeficiente de temperatura negativo (NTC) para temperatura ambiente. Para isolar variáveis e garantir a replicabilidade, as medições foram realizadas de forma síncrona, com dois equipamentos operando simultaneamente, um na zona de solo exposto e outro na zona sob intervenção das SBN. Os registros foram efetuados em intervalos de 5 minutos, totalizando 12 leituras em um ciclo de 55 minutos (das 14h30 às 15h25), sob as mesmas condições de radiação solar direta.

Em relação à sazonalidade, reconhece-se que as medições representam uma amostragem de curto prazo, conduzida em período de estiagem relativa, com condições de céu aberto e radiação solar direta semelhante nos dois pontos de medição. Estudos de longa duração com séries temporais abrangendo diferentes estações do ano são recomendados para a validação do comportamento microclimático em escala sazonal, o que constitui uma frente de pesquisa futura a ser desenvolvida neste sítio experimental.

RESULTADOS

A análise dos resultados válida a escolha estratégica do setor de intervenção em áreas R2 oferecendo uma janela de oportunidade em termos de tempo de resposta. Enquanto setores de risco mais elevados exigem intervenções rígidas, a margem temporal do nível R2 permitiu a aplicação bem-sucedida de bioengenharia e tecnologias sociais. No contexto de cidades resilientes, intervir neste estágio significa conter o processo de instabilização antes de sua evolução para colapsos críticos, transformando a prevenção em uma ferramenta de viabilidade técnica e econômica. A etapa de escolha das SBN's foi precedida por um diagnóstico visual detalhado, no qual foram identificados sinais claros de instabilização e degradação do talude.

PALIÇADAS DE CONTENÇÃO EROSIVA

A escolha das paliçadas de contenção erosiva fundamentou-se na necessidade de uma solução que aliasse estabilização física ao reordenamento do território. A intervenção consistiu no cravamento de seis linhas de estacas para consolidar três patamares sucessivos. Mecanicamente, o sistema funciona como microestacas de reforço que aumentam a resistência ao cisalhamento da camada superficial, enquanto a retenção de sedimentos atrás das barreiras cria anteparos de gravidade contra pequenos movimentos de massa [2] [12].

Hidraulicamente, esta geometria de degraus fragmenta o comprimento da rampa, dissipando a energia cinética da água e reduzindo a velocidade do escoamento superficial [4]. Este processo impede o transporte de partículas e a formação de ravinas, favorecendo a infiltração hídrica controlada e reduzindo a pressão hidrostática sobre o solo.

Para além do ganho geotécnico, a solução foi projetada para o uso produtivo do solo. A criação de terraços planos converteu uma área anteriormente vulnerável em um espaço apto à agricultura urbana, integrando a redução de riscos à qualificação ambiental e geração de renda. Ao unir bioengenharia e cultivo de hortaliças, a paliçada transcende a barreira física para se tornar uma tecnologia social, promovendo autonomia alimentar, inclusão produtiva e dignidade habitacional na periferia [12].

Figura 2: Paliçada com horta comunitária.



Fonte: autores (2026)

CAPIM-VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*)

A escolha do Capim-Vetiver associado à biomanta de fibra de coco e à geomanta MacMat R3 fundamentou-se em uma estratégia de proteção em camadas, unindo estabilização biológica profunda ao controle erosivo imediato.

O Capim-Vetiver foi selecionado pelo potencial de crescimento e resistência mecânica, ao desenvolver um sistema radicular profundo e fasciculado, chegando até 5 metros, formando uma rede densa e verticalizada que atua como um "grampeamento vivo" do solo. Suas raízes possuem uma resistência à tração 85,1 ±31,2 MPa equivalente a 1/6 da do aço doce, o que aumenta significativamente a resistência ao cisalhamento do maciço terroso. Além disso, apresenta alta tolerância a variações climáticas extremas e solos pobres, características essenciais para a resiliência em áreas críticas [6] [10].

Para assegurar a proteção durante o tempo de maturação da planta, a biomanta de fibra de coco oferece cobertura biodegradável imediata. Segundo [13], esta solução reduz em até 90% o impacto direto da chuva (efeito *splash*), retém a umidade para o desenvolvimento das mudas e, ao se decompor, enriquece o solo com matéria orgânica.

A geomanta sintética tridimensional (MacMat R3) complementa o sistema como uma proteção permanente. Sua estrutura de alta porosidade aprisiona partículas de solo, impedindo o carreamento por enxurradas de alta energia [14]. No sistema integrado, as raízes entrelaçam-se à malha da MacMat R3, criando um reforço híbrido que estabiliza a camada superficial do talude contra deslizamentos translacionais.

Figura 3: Vetiver associado a biomanta de fibra de coco.



Fonte: autores (2026)

MURO DE GRAVIDADE EM SUPERADOBE

A escolha do Superadobe para a base da encosta fundamentou-se em seu potencial como muro de gravidade de baixo impacto e alta eficiência geotécnica. A técnica utiliza solo local compactado em sacos de ráfia, estabilizado com cimento (5% a 10%) e travado horizontalmente com arame farpado. Este sistema cria uma estrutura massiva que opera pelo princípio do peso próprio, onde o arame atua como elemento de tração que impede o deslizamento entre as fiadas e resiste aos esforços de empuxo lateral [7].

Como SBN, o Superadobe destaca-se pela redução da pegada de carbono ao reaproveitar o solo do retaludamento, eliminando custos de transporte e bota-fora. Essa abordagem transforma um passivo ambiental em um ativo estrutural flexível e

monolítico, capaz de absorver assentamentos do terreno sem as rupturas catastróficas típicas de muros rígidos de concreto.

No projeto avaliado, a funcionalidade da técnica na base do talude impediu movimentos rotacionais de solo, integrando aos sistemas de drenagem com manta geotêxtil, evitando o acúmulo de empuxo hidrostático e garantindo a integridade do maciço mesmo em períodos de saturação hídrica.

Figura 4: Execução de superadobe



Fonte: autores (2026)

MONITORAMENTO MICROCLIMÁTICO

A conclusão das intervenções físicas, a metodologia estabeleceu um período de monitoramento e apropriação do sistema antes da realização das novas avaliações geotécnicas. Essa etapa de maturação foi essencial para permitir o estabelecimento biológico do Capim-Vetiver, a estabilização das camadas de solo sob as paliçadas e o ajuste mecânico do muro de Superadobe. Somente após esse intervalo, procedeu-se à realização de novos testes de campo e modelagens computacionais, visando quantificar o incremento real no FS da encosta e validar a transição do estado de iminência de instabilidade para uma condição de equilíbrio estável.

Os resultados do monitoramento comparativo revelaram uma distinção significativa entre as áreas degradadas de controle e as áreas que receberam a implementação das SBN. A avaliação foi feita no mesmo horário e em dia com características semelhantes de incidência solar (Tabela 1).

Tabela 1: Ambiente onde foi aplicado o SBN

	Sem Intervenção		Com Intervenção	
Intervalo de tempo	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)
00:00:00	59.5	31.4	63.1	30.2
00:05:00	57.7	32.1	64.0	30.4
00:10:00	56.4	32.4	63.5	30.4
00:15:00	56.2	32.6	63.6	30.3
00:20:00	56.5	31.8	63.8	30.4
00:25:00	57.1	31.7	64.5	30.4
00:30:00	57.2	32.4	63.7	30.4
00:35:00	57.3	32.3	64.6	29.8
00:40:00	56.4	32.4	64.1	30.5
00:45:00	57.2	32.5	63.6	30.5
00:50:00	57.0	33.3	64.1	30.3
00:55:00	57.6	32.9	63.9	30.5

Fonte: autores (2026)

Nas zonas sem intervenção, caracterizadas por solo exposto, foi registrada temperaturas ±2°C mais elevados e umidade relativa do ar ±5% menor, uma vez que o solo atua como uma superfície de alta absorção térmica e acelera a evaporação da umidade superficial, resultando em um microclima árido. Em contraste, nas áreas das paliçadas e do Capim-Vetiver, observou-se uma melhoria substancial nos indicadores ambientais.

A cobertura vegetal fornecida pelas touceiras densas de Vetiver criou uma camada de sombreamento sobre o solo, impedindo a absorção solar direta, enquanto o processo de evapotranspiração das plantas promoveu um aumento da umidade relativa. Além disso, a presença da biomanta de fibra de coco auxiliou na retenção de água no solo e na liberação gradual de vapor d'água, melhorando o microclima. Essa análise comprova que a eficácia das SBN na regeneração ambiental e melhoria do conforto térmico, mitigando o efeito de microilha de calor e transformando a encosta em um ambiente mais resiliente e saudável para a comunidade.

ANÁLISE COMPUTACIONAL PÓS INTERVENÇÃO

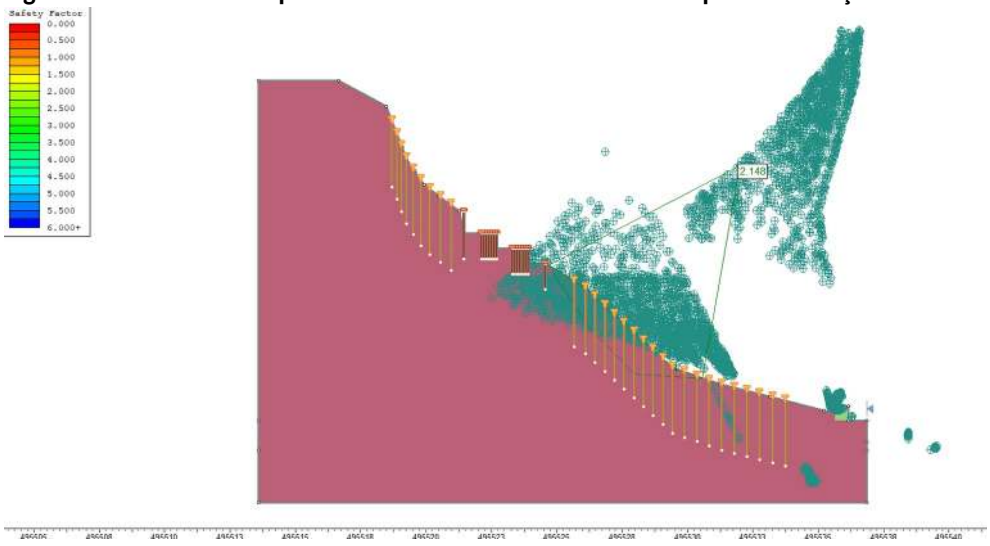
A análise computacional de estabilidade foi realizada por meio de modelagem por equilíbrio limite, integrando as propriedades geomecânicas do solo local aos reforços estruturais e biológicos das SBN.

Para a base da encosta, o superadobe foi inserido como uma contenção muro de arrimo gravitacional. A escolha desta solução justifica-se por seu elevado peso específico do solo local compactado de 20 KN/m^3. Esse parâmetro confere à estrutura condicionamento necessário para contrapor o empuxo ativo do maciço, estabilizando o talude e prevenindo movimentos rotacionais. O modelo foi configurado como um corpo rígido-flexível, capaz de absorver deformações plásticas sem perda de integridade, funcionando como um anteparo crítico de estabilização mecânica.

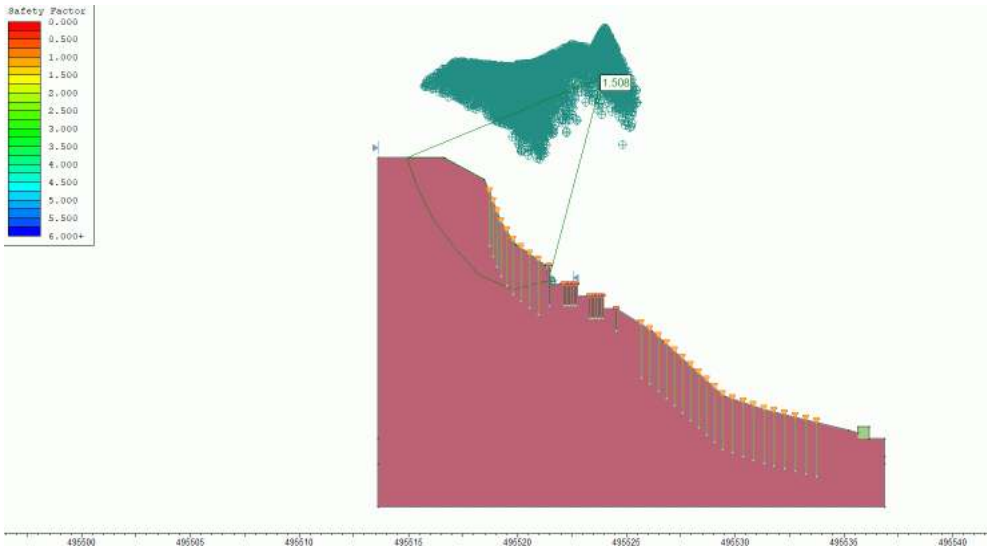
Complementando, a geometria do talude foi alterada pelas paliçadas de contenção, criando um sistema de terraceamento em degraus. Esta nova geometria é fundamental na análise computacional, pois os patamares reduzem o comprimento da rampa e a inclinação global, alterando favoravelmente as superfícies críticas de ruptura ao redistribuir as tensões internas. As estacas de eucalipto que compõem as paliçadas foram modeladas como micro-pilhas com aplicação passiva e resistência nominal ao cisalhamento de 30 KN, embora o cálculo teórico para o material (eucalipto de 7 cm de diâmetro) aponte uma capacidade de cisalhamento de cerca de 30,8 KN, adotou-se o valor de 20 KN como margem de segurança. Essa escolha considera que, em solos de argila mole, a falha tende a ocorrer pela pressão lateral do solo ao redor da estaca antes de atingir a ruptura da madeira, limitando sua atuação à estabilização superficial contra escorregamentos.

Já o reforço biológico Capim-Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) foi simulado como um sistema de solo grampeado passivo. Para a modelagem pós 9 meses de maturação e raízes de 2,5 metros, definiu-se a capacidade de tração individual de 10 KN, ante a resistência à tração média da raiz de 81,3 MPa, multiplicada pela área da seção transversal do feixe (touceira) consolidado. A capacidade da placa superficial foi definida como 0 KN, visto que, por ser uma SBN, o travamento é feito de forma flexível pela biomassa e biomantas, sem placas rígidas de aço, cuja ligação foi parametrizada em 3 KN/m, baseada na tensão de aderência solo-raiz de aproximadamente 40 KPa [9], garantindo que a carga seja transmitida ao solo ao longo da profundidade radicular.

Figura 5 e 6: Análise computacional de estabilidade da encosta pós intervenção.



DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8418



Fonte: autores (2026)

A modelagem identificou dois cenários críticos de estabilidade após a implementação. No primeiro cenário, correspondente à ruptura na parte superior da encosta, cujo FS=1,508, refletindo o impacto positivo do grampeamento-vivo Vetiver e do terraceamento na contenção de movimentos translacionais e rotacionais superficiais. Já no segundo cenário, analisando a ruptura na base da encosta alcançou FS=2,140, evidenciando a alta performance do Superadobe na estabilização do pé do talude.

Ambos os índices elevam a encosta de uma condição de estabilidade marginal para um estado de alta segurança, em conformidade com a norma de Estabilidade de Encostas NBR 11682:2009. A convergência desses dados demonstra que a combinação entre o Superadobe, o reordenamento geométrico das paliçadas e a tenacidade radicular do Capim-Vetiver consolida as SBN como alternativas tecnicamente viáveis e resilientes para a gestão de riscos geodinâmicos urbanos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permitiu concluir que a implementação de SBN no Alto do Coqueiro transcende a simples estabilização de encostas e estratégia de adaptação climática. O resultado expressivo desta intervenção, confirmado pela análise computacional, demonstrou a elevação do FS de 1,298 para 1,508 e 2,140. Este índice comprova que a integração entre o muro de gravidade em Superadobe, o terraceamento por paliçadas e o grampeamento biológico pelo Capim-Vetiver foi capaz de conferir ao maciço uma segurança superior à exigida pelas normas técnicas, garantindo a proteção física das habitações e da comunidade.

Além da eficácia geotécnica, o monitoramento microclimático evidenciou o caráter multifuncional das SBN. A transição do solo exposto para um sistema vegetado e estruturado resultou em uma redução mensurável das temperaturas locais e em um aumento da umidade relativa do ar. Esses dados confirmam que tais soluções atuam

diretamente na mitigação de microilhas de calor urbanas, ao contrário das intervenções convencionais, que frequentemente impermeabilizam e retêm calor.

Portanto, pensar em obras públicas sob a ótica das SBN é fundamental para a construção de cidades resilientes. Em um cenário de emergência climática e agravamento de eventos extremos, a resiliência não deve ser entendida apenas como a capacidade de resistir, mas de se adaptar e transformar territórios vulneráveis em espaços de convivência e produção. A experiência apresentada demonstra que é possível aliar segurança, baixo impacto ambiental e inclusão social. Este protótipo serve como um modelo replicável para a gestão pública municipal, provando que a infraestrutura verde e azul é o caminho viável para garantir a dignidade habitacional e a justiça socioambiental em nossas cidades.

DECLARAÇÃO

Os Autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] VIEIRA, Helena Barbosa Soneghet Lemos. **Mudanças climáticas e as cidades resilientes:** a inclusão das soluções baseadas na natureza na (re) leitura do Plano Diretor de Vitória/ES. 2025. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Direito) – Faculdade de Direito de Vitória, Vitória, 2025.

[2] CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTA DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). **Educação em clima de riscos de desastres.** Reimpr. rev., São José dos Campos: Cemaden, 2024. 96 p. ISBN: 978-65-5471-029-9.

[3] BRASIL. Lei nº 12.187, de 22 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 dez. 2009.

[4] SALVADOR. Secretaria de Sustentabilidade e Resiliência. **Introdução às soluções verdes e baseadas em ecossistemas nas edificações.** Elaboração: Marta Lannes Schoeler. Salvador: Secretaria de Sustentabilidade e Resiliência, 2020.

[5] FERNANDEZ-MOROCHO, P. *et al*. Root reinforcement by vetiver grass (Chrysopogon zizanioides) for sustainable slope stabilization in two Andean soil types: evidence from laboratory testing and numerical modeling. **Sustainability**, Basel, v. 18, art. 5220, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su18115220. Acesso em: 08 jun. 2026.

[6] ISLAM, S. *et al*. Identifying the effect of the significant parameter on bio-engineered slope protection: a numerical study . In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL ENGINEERING AND INNOVATION (ICCEI), 2025, Rajshahi. **Proceedings of International Conference on Civil Engineering Research & Innovations**. Rajshahi: RUET, 2025. art. 267.

[7] CARVALHO, Celso Santos; MACEDO, Eduardo Soares de; OGURA, Agostinho Tadashi (org.). **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios.** Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p. ISBN: 978-85-60133-81-9.

[8] MADRUGA, Elder de Lucena; SCHELLE, Elvio Luiz; SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares. **Uso do capim vetiver (sistema vetiver) na estabilização de taludes de**

rodovias, proteção de drenagens e de áreas marginais. [S.l.: s.n., 2007]. 25 p. Disponível em: https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Material%20Did%C3%A1tico/CBPRG%20-%202019/PESQUISA%20VETIVER.pdf. Acesso em: 10 abr. 2026.

[9] NAKAGAWA, B. Y. M. **Aplicações de ecotécnicas na construção civil e comparação com técnicas tradicionais.** 2017. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2017.

[10] FONSECA, Emily Tamires Matias da; FRANÇA, Fernando Wollertt de. **Soluções baseadas na natureza aplicadas a habitações de interesse social**. Caderno PAIC, Curitiba, v. 23, n. 1, p. 439–452, 2022. Disponível em: https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/505. Acesso em: 14 abr. 2026.

[11] TEIXEIRA, Natália Campos; GUIMARÃES, Carla Daniele de Carvalho. Métodos de contenção e estabilização de processos erosivos avançados e voçorocas no Brasil. **Saberes Interdisciplinares**, São João del-Rei, n. 10, p. 73-92, 2012.

[12] SKRZYSZOWSKI, V. S. **Estudo do potencial do capim vetiver (Chrysopogon zizanioides) com ênfase à bioengenharia de solos.** *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 32593-32612, 2021.

[13] ALVES, Genilson Gomes. **Utilização da biomanta de fibra de coco como técnica de bioengenharia para o controle de erosão em taludes**. 2023. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023.

[14] SALES, Thiago José Moreira. **Estudo da aplicação de geossintético no controle de erosão**. 2017. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.