

Análise do Uso da Vegetação na Proteção de Taludes: Estudo de Caso nas Obras de Duplicação da BR-101/NE

Thiago Lima de Freitas Nobre

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, Brasil, thiagolfnr@gmail.com

Olavo Francisco dos Santos Júnior

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, Brasil, olavo@ct.ufrn.br

Osvaldo de Freitas Neto

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, Brasil, osvaldocivil@ct.ufrn.br

RESUMO: Este trabalho analisa o emprego da vegetação na estabilização de taludes rodoviários. Aqui será exposta a análise da utilização da cobertura vegetal em taludes rodoviários e jazidas envolvidos na obra da duplicação da BR-101/NE. Os casos analisados estão localizados no Rio Grande do Norte, mais especificamente no trecho entre Natal e São José do Mipibu. Inicialmente foi realizada uma análise visual dos taludes estudados, considerando as condições da cobertura vegetal dos taludes assim como as condições sob as quais os taludes se apresentavam. Posteriormente foi realizada a análise da estabilidade desses taludes, de forma a determinar o fator de segurança, desconsiderando a presença da vegetação, por meio do programa Geo5 – Slope Stability. Com base nos resultados encontrados, considerando as condições das superfícies críticas de ruptura encontradas, bem como as características do solo e das espécies vegetais presentes no local, uma das conclusões obtidas foi que, a vegetação utilizada nos taludes estudados, composta por espécies de gramíneas e leguminosas, atua principalmente no combate à erosão e, não interfere de forma direta na estabilidade dos taludes estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Revestimento Vegetal, Estabilidade de Taludes, Taludes Rodoviários, Erosão.

1 INTRODUÇÃO

A questão da segurança envolvendo taludes em solos e rochas é um problema relevante na engenharia geotécnica. A estabilidade de taludes é algo que deve ser analisado e trabalhado de forma bastante criteriosa, para que a segurança da população, das infra-estruturas e de edificações seja garantida, uma vez que, a ocorrência de movimentos de massa não previstos, é um problema importante de ordem social e econômica.

O uso inadequado do solo diminui a qualidade de vida da população e origina diversos problemas como escorregamentos, erosões e assoreamentos, os quais podem

colocar em risco vidas humanas e a integridade de edificações.

A construção de estradas exige geralmente uma grande movimentação de terras. DNIT (2009) indica que os taludes de corte e de aterro, sem aplicação de nenhuma medida para o controle de processos erosivos e com ausência do revestimento vegetal, originam deslizamentos constantes de solo.

À utilização de elementos biologicamente ativos, como a vegetação, em conjunto com elementos inertes, para estabilização de taludes, nomeia-se bioengenharia.

Greenway (1989) destaca a complexidade da interação solo-vegetação, o que dificulta as tentativas de se quantificar os efeitos da

vegetação em análises de estabilidade.

De acordo com Gerscovich (2012), a cobertura vegetal pode produzir efeitos positivos ou negativos em relação à estabilidade de encostas. De maneira geral a vegetação protege o solo de diversos efeitos climáticos, ao mesmo tempo em que as raízes podem reforçar o solo a partir do aumento da coesão originado pela interação solo-raiz.

Wu *et al.* (1979) indicam que o aumento da resistência promovido pelas raízes das árvores é um aspecto relevante, principalmente em taludes mais íngremes. A retirada dessas raízes em conjunto com a execução de cortes rasos pode afetar seriamente a estabilidade de um talude.

Tratando-se especificamente de obras rodoviárias, DNIT (2009) afirma que a cobertura vegetal em taludes, tem efeito positivo no meio ambiente do domínio estradal. É mencionada como vantagem a proteção dos perfis de aterro ou de corte contra a erosão, através da redução do transporte de sedimentos obtidos pelas raízes. Outra vantagem destacada é a recomposição ambiental relacionada à água, solo, fauna e flora, estabelecendo condições favoráveis à vida animal e vegetal bem como a reintegração da paisagem existente.

2 CONDIÇÕES LOCAIS

2.1 Duplicação da BR-101/NE

As obras de duplicação da BR-101/NE foram divididas em dois empreendimentos distintos pelo DNIT. O primeiro, com início em dezembro de 2005, abrangeu os estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, até o município de Palmares/PE. Já o segundo, no qual os serviços iniciaram-se em maio de 2010, englobou os estados de Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia.

Em relação ao primeiro empreendimento, a obra foi dividida em oito lotes, sendo dois no Estado do Rio Grande do Norte, três na Paraíba e três em Pernambuco. No Rio Grande do Norte, o lote 1 representou o trecho entre os municípios de Parnamirim e São José do Mipibu, tendo uma extensão de 46,2 km,

enquanto o lote 2, com extensão total de 35,2 km, envolveu o percurso de Arês até a divisa do Rio Grande do Norte com a Paraíba

Pela importância da reestruturação da rodovia em questão, as metodologias aplicadas na estabilização de taludes devem ser extremamente eficientes, uma vez que a ocorrência de deslizamentos e processos erosivos seriam altamente prejudiciais, podendo causar acidentes envolvendo vidas humanas, além de um prejuízo socio-econômico significativo devido à interrupção da rodovia.

2.1.1 Gestão Ambiental

Obras de grandes dimensões, como o empreendimento em questão, causam uma série de impactos ao meio circundante. Em busca de minimizar e evitar os danos sobre os ecossistemas presentes na região das obras, foram estabelecidas algumas diretrizes ambientais. O cumprimento dessas diretrizes é orientado e fiscalizado por meio do Programa de Gestão Ambiental (PGA) da BR-101/NE.

A Gestão Ambiental das obras nos lotes do Rio Grande do Norte contempla a execução de diversos programas ambientais, sendo alguns deles, combate a processos erosivos e instabilidades, monitoramento de processos erosivos, recomposição vegetal e recuperação do passivo ambiental.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 Investigação de Campo

O levantamento da área foi realizado com inspeção em campo, objetivando fazer um levantamento da situação de taludes da obra da duplicação da BR-101/NE, no trecho no estado do Rio Grande do Norte, examinando a ocorrência de problemas de erosão e movimentos de massa, bem como o sucesso ou não da implantação da vegetação nestes taludes.

Foram analisadas as situações de três taludes envolvidos na obra de duplicação da BR-101/NE. As análises foram realizadas em uma jazida localizada no km 114 da rodovia, aqui nomeada de Jazida 01, uma jazida localizada no

km 117, chamada para fins deste trabalho de Jazida 02, e um talude rodoviário de corte localizado no km 125, que aqui será denominado de Talude.

A Figura 1 explicita as respectivas localizações destas áreas estudadas.

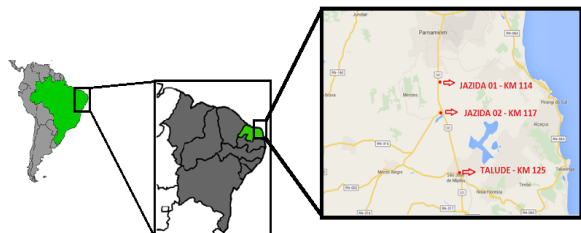


Figura 1. Localização dos taludes analisados.

A Tabela 1 apresenta um breve resumo das características dos taludes.

Tabela 1. Características dos taludes visitados.

Nome	Altura (m)	Inclinação (°)
Jazida 01	3,0 a 4,0	~ 45°
Jazida 02	4,0 a 5,0	~ 45°
Talude	4,0 a 5,0	~ 45° (Parte Superior) ~ 70° (Parte Inferior)

As Figuras 2, 3 e 4, representam a vista frontal da Jazida 01, da Jazida 02 e do Talude, respectivamente.



Figura 2. Vista frontal da Jazida 01.



Figura 3. Vista frontal da Jazida 02.



Figura 4. Vista frontal do Talude.

3.3 Caracterização Geológica

Para os índices de caracterização dos solos dos taludes estudados, foram tomados como base, os dados provenientes de estudos apresentados por Santos Jr. *et al.* (2015).

A zona costeira oriental do estado do Rio Grande do Norte apresenta algumas feições morfológicas como as dunas, falésias, tabuleiros e planícies flúvio-marinhas. A maior parte desta região está instalada na unidade geológica denominada Formação Barreiras que, segundo Santos Jr. *et al.* (2015), trata-se de uma formação sedimentar de expressão continental, a qual se estende desde a Foz do Amazonas, percorrendo a região costeira norte e nordeste, até o Rio de Janeiro.

Ainda de acordo com Santos Jr. *et al.* (2015), a Formação Barreiras consiste em uma estrutura sedimentar, composta por camadas intercaladas de arenitos, siltitos e argilitos com diferentes teores de silte, argila e arenitos.

conglomeráticos, sendo frequente a ocorrência de camadas enrijecidas com cimentação ferruginosa. Os sedimentos apresentam tonalidades com coloração viva, variando desde vermelhas, amarelas até brancas. Estes sedimentos afloram nas falésias erodidas ao longo das praias, nas vertentes íngremes dos vales e em taludes de cortes de rodovias.

Severo (2005) coletou amostra à margem da rodovia BR-101, no km 131. Foi observada uma coloração variegada, com vários tons de marrom, e com pouca presença de fissuras, tendo o material apresentado boa resistência ao destorroamento. Ao realizar ensaios de imersão, o autor concluiu que o material oferece grande resistência à liberação das partículas quando imerso, sendo, portanto, um solo não dispersivo.

Santos Jr. *et al.* (2015), reuniram parâmetros de coesão e ângulo de atrito, encontrados em algumas pesquisas, para determinadas amostras, nas situações de umidade natural e em estado inundado, conforme expõe o Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 . Parâmetros de resistência dos sedimentos da Formação Barreiras, Santos Jr. *et al.* (2015).

Solo	Parâmetros	Umidade Natural	Inundado
Topo – Falésia – Tibau do Sul	ϕ (°)	28,0	28,0
	c (kPa)	233,0	50,6
Base – Falésia – Tibau do Sul	ϕ (°)	28,0	27,0
	c (kPa)	384,1	45,4
Piau – RN 003	ϕ (°)	32,0	30,0
	c (kPa)	396,6	95,5
Br 101 – km 131	ϕ (°)	27,0	26,0
	c (kPa)	259,3	109,7
Topo – Falésia – Baía Formosa	ϕ (°)	-	29,5
	c (kPa)	-	16,9
Base – Falésia – Baía Formosa	ϕ (°)	-	33,6
	c (kPa)	-	59,9

Percebe-se a significativa influência da sucção no comportamento desses solos, haja vista a significativa redução de coesão quando se comparam os resultados de ensaios realizados com as amostras no seu estado natural, com baixo teor de umidade, e ensaios realizados com as amostras inundadas, redução esta não observada no ângulo de atrito, o qual praticamente não sofreu essa alteração, ao comparar o solo com o teor de umidade natural e inundado.

3.4 Análise da Estabilidade dos Taludes

Foi realizada a análise da estabilidade dos taludes em questão, através do programa Geo 5 – Slope Stability. Para fins deste trabalho, foram consideradas duas situações. Na primeira, foram adotados os valores de coesão e ângulo de atrito encontrados para a amostra da BR-101 - km 131, que estão expostos na Tabela 3. Preferiu-se utilizar os parâmetros encontrados para a situação inundada, uma vez que a redução da coesão e do ângulo de atrito torna esta situação a mais crítica para a amostra da BR-101 – km 131. Foram utilizados especificamente os parâmetros dessa amostra devido ao fato de que essa amostra, dentre as apresentadas em Santos Jr. *et al.* (2015), é a que mais se aproxima da situação dos taludes estudados neste presente trabalho. Na segunda situação, foram utilizados os valores encontrados para o Topo – Falésia Baía Formosa, devido ao reduzido valor de coesão, objetivando analisar a estabilidade destes taludes com o menor valor de coesão encontrado para as amostras retratadas.

Após definição das propriedades do solo, foi realizada a análise da estabilidade. Os fatores de segurança foram obtidos sem considerar a presença da vegetação, de forma a analisar se a vegetação é essencial na estabilização dos taludes, ou se ela atua apenas como um agente complementar. Foram realizadas análises pelo método de Bishop (B) e por Morgenstern-Price (MP). As análises foram feitas no modo de otimização oferecido pelo programa, em que diante das situações expostas o programa encontra a superfície de ruptura crítica para o caso. Os resultados obtidos para o fator de segurança, para estas situações, estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados do cálculo dos fatores de segurança para os taludes estudados.

Talude/Parâmetros	A	B	C	D	E
Inclinação (°)	45,0	45,0	70,0	45,0	70,0
Altura (m)	3,0	5,0	5,0	3,0	5,0
Coesão (kPa)	109,7	109,7	109,7	29,5	29,5
ϕ (°)	26,0	26,0	26,0	16,9	16,9
FS – B	13,2	8,4	7,2	3,0	1,5
FS – MP	13,3	8,6	7,6	3,0	1,6

Nota: A - Jazida 1 / B - Jazida 2 / C - Talude km 125 / D - Jazida 01 – Caso Crítico Talude / E - km 125 – Caso Crítico

A Figura 5 apresenta o resultado obtido para a situação da Jazida 02, com as propriedades do

solo referentes ao ensaio inundado da amostra BR-101 – km 131, utilizando o método de Morgenstern-Price. Já a Figura 6 apresenta o resultado obtido para a situação do Talude do km 125, com as propriedades do solo referentes aos ensaios para a amostra Topo – Falésia Baía Formosa, apresentados na Tabela 2, utilizando o método de Bishop.

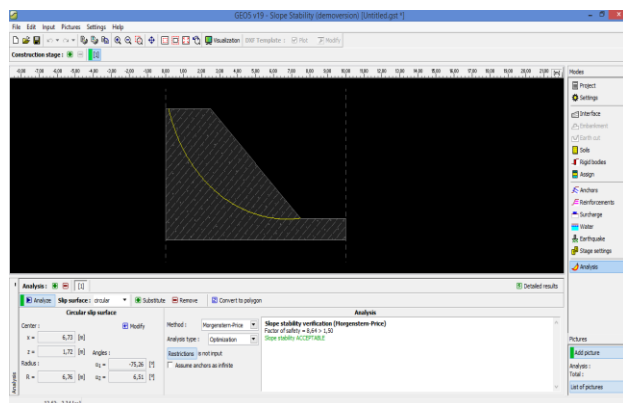


Figura 5. Análise da estabilidade para Jazida 02.

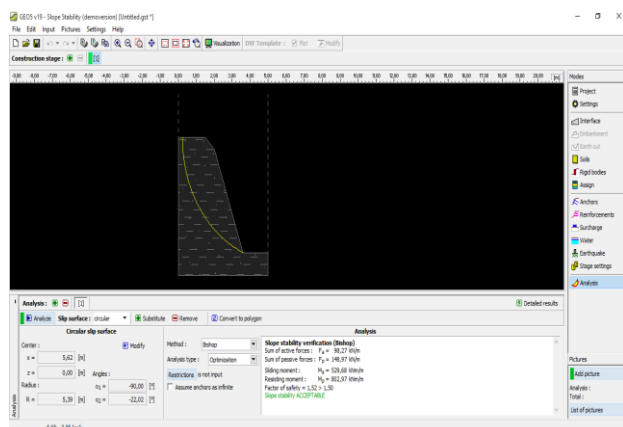


Figura 6. Análise da estabilidade para talude do km 125.

3.5 Características da Vegetação Existente

Nos três casos analisados, o processo de implantação da vegetação foi por meio da hidrossemeadura, sendo complementado com a utilização de biomantas. No preparo do solo para o plantio, foi realizado o coveamento do solo, que consiste em bater com a enxada ou picareta no talude gerando pequenas covas, deixando o talude homogêneo e com cavidades.

Após a preparação do solo, são implantadas as biomantas, que vão auxiliar no desenvolvimento inicial da vegetação, permitindo uma melhor fixação e minimizando os efeitos de agentes erosivos logo após a semeadura. Com a aplicação da biomanta

concluída, ocorre o lançamento da mistura de sementes, no que consiste a hidrossemeadura.

Foi utilizado, nas três situações estudadas, apenas o consórcio de gramíneas e leguminosas, não ocorrendo a implantação de espécies arbustivas e arbóreas nesses taludes. Os plantios foram realizados em épocas chuvosas, de forma a facilitar o desenvolvimento inicial da vegetação, ocorrendo entre os meses de março e julho.

Na Jazida 01 foi possível observar que a implantação da vegetação não atingiu a eficiência desejada, uma vez que a cobertura do solo não chega nem a 50% de um cobrimento efetivo.

Já na Jazida 02 o cobrimento foi bem mais significativo, de modo que observou-se que a vegetação foi capaz de cobrir o talude quase que na sua totalidade, sendo assim a implantação da vegetação nessa jazida mais eficiente do que a implantação na Jazida 01, apesar de as duas estarem submetidas a condições semelhantes de declividade, clima e da implantação da cobertura vegetal.

Para o Talude no km 125 da rodovia, percebe-se, que ocorreu um bom desenvolvimento da vegetação, no entanto com algumas falhas na região central e mais íngreme do talude, o que pode ter ocorrido devido a um escorrimento das sementes logo após a execução da hidrossemeadura, ocasionado pela alta declividade associada à erosão hídrica.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Diante dos resultados obtidos na análise da estabilidade dos três taludes estudados e, das características da vegetação e do solo, observadas *in situ*, fica evidente, para as condições presentes nos objetos de estudo deste trabalho, que a estabilidade dos taludes é garantida de forma independente da presença de vegetação.

O primeiro fato que comprova tal afirmação é que, como se pode perceber nas Figuras 5 e 6, as superfícies críticas de ruptura destes taludes são relativamente profundas, enquanto que as raízes das espécies utilizadas na cobertura vegetal não são tão profundas, apesar de serem

densas na superfície. Sendo assim, essas raízes irão reforçar o solo em profundidades menores. Portanto, como as raízes, em sua maioria, não ultrapassam a superfície de ruptura, não ocorrerá um incremento da resistência deste talude ao cisalhamento pelo efeito de ancoragem.

Em relação à diminuição da umidade proporcionada pela presença da vegetação, mesmo na situação em que foram utilizados os parâmetros para a amostra inundada, os taludes apresentaram resultados aceitáveis quanto à estabilidade.

Ao ser desconsiderada a presença da vegetação, condição em que foram feitas as análises de estabilidade, os taludes apresentaram fatores de segurança, maiores que 1,5, que garantem que estes taludes estão estáveis mesmo sem influência da cobertura vegetal.

Pode-se afirmar então que, a vegetação exerce influência apenas no combate, ou minimização, da ocorrência de processos erosivos nesses solos. A cobertura vegetal atenua tanto a erosão hídrica como a eólica. Ela reduz a desagregação de partículas do solo, uma vez que reduz o impacto de gotas de chuva, reduz a velocidade do escoamento superficial, ação de raios solares e vento sobre o solo.

A Jazida 02 e o Talude do km 125, apresentam cobertura vegetal extremamente densa, que atua praticamente na totalidade da área desses taludes e, devido a este fato, foi observado que não existe a ocorrência de nenhum processo erosivo significativo nestas áreas.

Já para a Jazida 01, a cobertura vegetal presente não é tão densa, e não foi capaz de abranger a área do talude de forma suficiente, para que a vegetação pudesse ser considerada como fator limitante dos processos erosivos. Porém, mesmo sem a cobertura vegetal eficiente, não foi observada a ocorrência de processos erosivos relevantes nesta jazida, isto porque o solo aparentava possuir cimentação, além de ser um solo com boa resistência ao destorroamento.

Além do efeito de combate à erosão, a vegetação exerce outro importante mecanismo, que é o de reintegrar as áreas que foram

afetadas por obras rodoviárias às regiões circundantes. É de extrema importância que se dê prioridade à utilização de espécies nativas, uma vez que estas já são adaptadas ao ambiente em questão. As espécies nativas conservam as condições ecológicas do ambiente, garantindo um equilíbrio do ecossistema.

As análises da influência que a vegetação exerce na estabilização de encostas e taludes são de certa forma, recentes e, devido à complexidade e grande variedade de interações possíveis entre solo e vegetação, não é possível quantificar, de maneira correta, a influência exercida.

REFERÊNCIAS

- Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), *Implantação e recuperação de revestimentos vegetais rodoviários. Manual de vegetação rodoviária*, v. 1, Rio de Janeiro, 2009.
- Gerscovich, D. M. S. *Estabilidade de taludes*. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- Greenway, D.R. Vegetation and slopes stability. In: Anderson, M.G.; Richards, K.S., *Slope stability: geotechnical engineering and geomorphology*. Chichester: John Wiley, 1989, Cap. 6, p. 187-231.
- Santos Jr, O. F.; Coutinho, R. Q.; Severo, R. N. F.; Propriedades geotécnicas dos sedimentos da Formação Barreiras no litoral do Rio Grande do Norte – Brasil, *Geotecnia*, n. 134, p. 87-108, 2015.
- Severo, R.N.F. *Análise da estabilidade das falésias entre Tibau do Sul e Pipa – RN*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.
- Wu, T. H.; Mckinnell III, W. P.; Swanston, D. N. Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island - Alaska, *Canadian Geotechnical Journal*, v. 16, n. 1, p. 19-33, 1979.