ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES NATURAIS, COMPACTADOS E ESTABILIZADOS QUIMICAMENTE COM CAL E CINZA DA CASCA DE ARROZ

Wagner Dambrós Fernandes
Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa
w.dambros@gmail.com
Flávio Silva Vieira Junior
Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa
flaviovisiju@gmail.com
Micheli Kauffman Bianchini
Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa
micheli_kaufmann@hotmail.com
Cleber Millani Rodrigues
Me. Engenheiro Agrícola da Universidade Federal do Pampa
cleberrodrigues@unipampa.edu.br
Magnos Baroni
Prof. Me. Assistente do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa
magnosbaroni@unipampa.edu.br

Resumo. *O trabalho apresenta a caracterização e análise da coesão e ângulo de atrito através do ensaio de cisalhamento direto de um solo da formação Botucatu em seu estado natural, compactado na energia normal do Proctor e estabilizado a adição de cal e CCA (cinza da casca de arroz). Foi possível verificar o aumento na resistência do solo compactado e estabilizado. Para avaliar a estabilidade de taludes foram modelados perfis típicos existentes em estradas vicinais com as características dos materiais em estudo, níveis de água e carregamentos externos impostos por veículos. Foi verificado que com a aplicação da camada de solo melhorado é possível aumentar a inclinação do talude e diminuir a extensão da base do talude aterro.*

Palavras-chave:*Estabilidade, Cisalhamento, Solo estabilizado.*

1. INTRODUÇÃO

Os taludes podem ser qualquer superfície inclinada que limite um maciço de terra ou rocha, podendo ser natural ou artificial, como taludes de aterro e corte, Caputo (1988). Segundo Vargas (1977), um maciço de terra se mantém em equilíbrio quando, a tensão de cisalhamento é igual ou menor que a resistência ao cisalhamento do material, Fig. 1. Em geral deve ser respeitado o fator de segurança de 1,5 que resultante da equação FS= $\tau_{(atuante)}/\tau_{(mobilizada)}$, onde ($\tau$) é a tensão cisalhante.

Para avaliar a estabilidade são utilizados de forma rotineira os métodos de Bishop, e Jambu, que consideram a superfície de ruptura como sendo circular e as forças entre as partes sejam horizontais, Gerscovich, (2012).

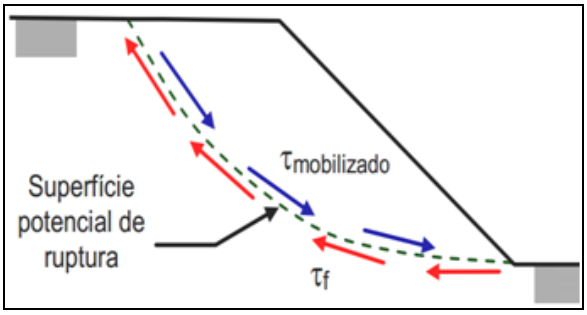

Figura 1: Geometria do escorregamento de um talude.

2. METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geotecnia e Pavimentação da UNIPAMPA, a partir de amostras coletadas em jazida localizada na latitude 29°50'13.46" Sul e longitude 55°46'27.01" Oeste, na cidade de Alegrete, RS. Foram realizados ensaios de caracterização, compactação e cisalhamento direto em amostras do solo natural e também em amostras de solo estabilizado quimicamente com o seguinte traço, sugerido por Klamt (2012): 75% solo + 10% cal + 15% CCA (cinza da casca de arroz).

Foram moldados corpos de prova de 10cm de diâmetro por 12,7cm de altura, na umidade ótima e com energia normal do Ensaio Proctor. Posteriormente os CP's foram mantidos em câmera úmida para a cura. Após os períodos de 7 e 14 dias, foram moldados a partir dos CP's amostras de 5x5x2cm (largura, comprimento e altura) para realização de ensaios de cisalhamento direto. O ensaio de cisalhamento direto foi executado em uma caixa metálica bipartida, as tensões normais utilizadas foram de 25, 50, 100 e 200kPa.

Foram criados taludes baseados em alturas típicas de cortes e aterros de estradas vicinais. Foram consideradas também as cargas impostas pelo trafego de veículos e o nível de água existente na mesma cota do nível do terreno. A Tabela 1 apresenta as variáveis consideradas no trabalho.

É importante salientar que estudos que versam sobre estradas vicinais são de extrema importância para a região Oeste do estado do RS. As estradas vicinais na sua grande maioria são constituídas por um revestimento primário, ou seja, uma camada de base sobre o subleito.

Um dos grandes desafios atuais é, a construção e manutenção dessas estradas, que possuem como principais características períodos de baixo volume de tráfego e períodos com tráfego extrapesado, geralmente na época da colheita da produção agrícola.

Tabela 1. Variáveis utilizadas na modelagem do perfil típico de rodovia.

Variável	Valor	Referência
Abaulamento	2,5%	Shu Han Lee (2000)
Carga Utilizada	25,5 t	CONTRAN (Resolução 12/98)
Eixo	Tandem triplo	
Área pneu/rodovia	780,50 cm²	Fernandes JR (2002)
Nível D'água	Altura talude	----------
Software	Slide	Slide, 2009.
Fator Segurança	1,5	Gerscovich (2012)

3.ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O solo utilizado é de originário da formação Botucatu e, conforme sua distribuição granulométrica se classifica como areia argilo siltosa.

Para avaliar os parâmetros de resistência deste solo, foram realizados ensaios de resistência ao cisalhamento direto. Os resultados indicam que o solo natural possui uma baixa coesão, que aumenta a partir da compactação do solo natural e chega a 92 kPa com a inclusão dos agentes químicos. Já os ângulos de atrito do solo natural, compactado e estabilizado variaram entre 29,4° e 39,2°. A Tabela 2 resume os resultados encontrados.

Tabela 2. Coesão (c) e ângulo de atrito (φ) para solo natural, solo compactado e solo estabilizado.

	Solo Natural	Solo Compactado		Solo + cal + CCA	
	Dias	**7**	**14**	**7**	**14**
c	0.1 kPa	12 kPa	14 kPa	67 kPa	92 kPa
φ	33.0°	29,4°	27,5°	37,6°	39,2°

O talude foi moldado a partir das especificações Manual de conservação de rodovias do DNIT (2005) e variáveis elencadas na Tabela 1. As Fig. 2 a 5 mostram respectivamente os croquis dos taludes analisados; talude com apenas solo natural, talude com solo compactado, talude de 50 cm superficial de solo melhorado, talude com 1m superficial de solo melhorado.

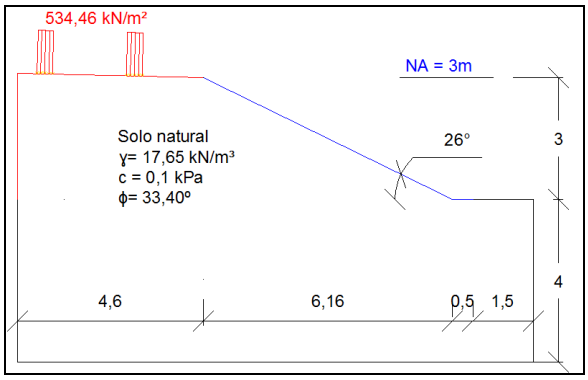

Figura 2. Croqui do talude com solo natural.

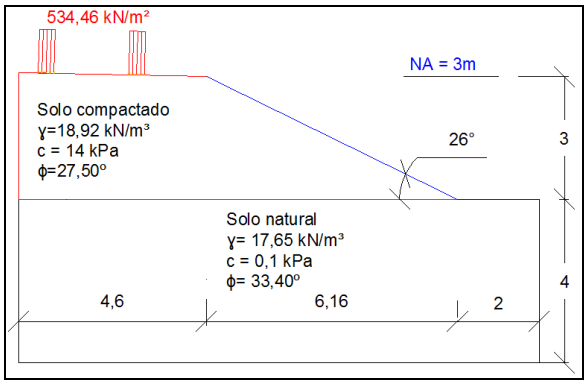

Figura 3. Croqui do talude com solo natural.

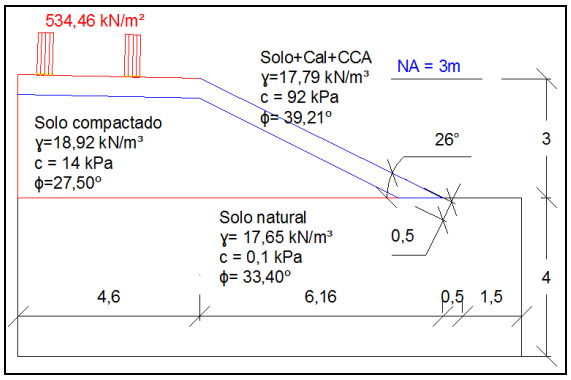

Figura 4. Croqui do talude com reforço de 50cm de Solo + Cal + CCA.

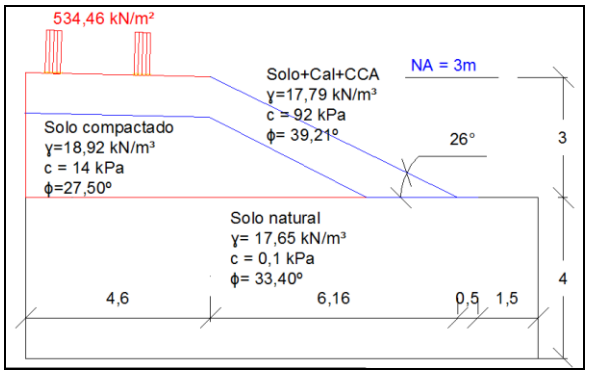

Figura 5. Croqui do talude com reforço de 1m de Solo+Cal+CCA.

Para a análise da estabilidade dos taludes com inclinação de 2:1 (horizontal; vertical) e compostos por materiais de diferentes parâmetros foi utilizado o software Slide, V5 da Rocscience.

A Tabela 3 apresenta os fatores de segurança (FS) obtidos pelo método de Bishop (1955) para os taludes de aterros compostos por: solo natural, Talude 1, croqui da Fig. 2; solo natural compactado, Talude 2, croqui da Fig. 3; camada de 0,5 m de solo estabilizado sobre 2,5 m de solo natural compactado, Talude 3, croqui da Fig. 4 e camada de 1,0 m de solo estabilizado sobre solo natural compactado, Talude 4, croqui da Fig. 5. Em todas as análises o nível de água foi considerado igual ao nível do terreno.

Os resultados mostram que o FS≥1,5, somente foi obtido para as condições em estudo no talude composto por camada de 1,0 de solo estabilizado, acima de camada de 2,0 m de solo compactado. Os taludes compostos apenas pelo solo natural ou pelo solo natural compactado na energia normal do Proctor tiveram FS≤1,5, ou seja, não são estáveis.

Tabela 3: Fator de segurança para os taludes em estudo.

	Talude 1	Talude 2	Talude 3	Talude 4
FS	0,75	1,16	0,98	1,66

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentou os resultados dos fatores de resistência do solo (ângulo de atrito e coesão) obtidos a partir de ensaios de cisalhamento direto em amostras de solo natural, solo compactado na energia normal do Proctor e solo estabilizado quimicamente com cal e CCA.

A partir dos parâmetros obtidos foram elaborados croquis, simulando a execução de aterros de 3,0 m de altura para a execução de estradas vicinais, também foi simulado o carregamento correspondente à passagem de veículos com eixo tandem triplo e nível de água na mesma cota do nível do terreno. Essas variáveis foram elencadas para simular a pior situação de carregamento que o talude em estudo poderia ser submetido.

Os resultados indicam que para as condições propostas, os taludes compostos pelo solo natural e pelo solo natural compactado não obteriam os fatores de segurança mínimos exigidos pelas normativas e empregados na boa prática da engenharia. Somente o talude de aterro composto por 1,0 m de solo estabilizado acima de 2,0 do solo natural compactado obteve o FS=1,66, estando apto para a execução no campo.

Nas próximas etapas da pesquisa serão executados ensaios de cisalhamento direto com CP's com 28 e 56 dias de cura, a fim de avaliar o ganho de resistência com o tempo. Serão também realizados estudos de estabilidade em taludes com diferentes alturas e níveis de água.

4. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 1984**.**

_____. **NBR 7180:** Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 1984**.**

_____. **NBR 7181:** Solo – Análise Granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 1984**.**

_____. **NBR 7182:** Solo – Ensaio de Compactação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 1986**.**

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações.** Fundamentos. 6º edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988.

FERNANDES JR, José Leomar; FABBRI, Glauco Tulio Pessa; PARREIRA, Alexandre Benetti; SÓRIA, Manoel Henrique Alba; GIGANTE, Antônio Carlos. Efeitos dos penus *trellborg* sobre pavimentos asfálticos. **Revista Pesquisa e Tecnologia Minerva**. São Carlos, SP. 2002.

GERSCOVICH, Denise M. S. **Estabilidade de Taludes**. São Paulo: Ofina de Textos, 2012.

KLAMT, Rodrigo A**. Utilização da cal e da cinza da casca de arroz no melhoramento das propriedades geotécnicas dos solos.** Trabalho de conclusão de curso. 2012.

LAMBE, T. Willian; WHITMAN, Robert V. **Soil Mechanics**, Ed. Mc Graw – Hill Book Co., 1969.

LEE, Shun Han. **Projeto Geométrico de Rodovias**. Apostila. Florianópolis: SC. UFSC, 2000.

Manual de Conservação de Rodoviária. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte – DNIT. 2005.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/2ª Edição.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

RESOLUÇÃO 12, **Limites de peso e dimensões para veículos que transitam em vias terrestres**. Conselho Nacional de Trânsito – CONATRAN. 1998.

VARGAS, Milton. **Introdução à Mecânica dos Solos.** São Paulo: Editora MCgraw-Hill do Brasil, 1977. Volume Único.