

IX-052 – ANÁLISE DA RESISTÊNCIA OFERECIDA AO SOLO PELO VETIVER PARA VERIFICAÇÃO DA SUA EFICIÊNCIA NO CONTROLE DE EROSÃO E ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES DE ATERRO SANITÁRIO

Karoline Ribeiro dos Santos⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade de Vila Velha (UVV).

Rafaely Rebuli Procópio⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade de Vila Velha (UVV).

Michele Cristina Rufino Barbosa⁽³⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Mestre em Engenharia Mineral pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Doutora em Geotecnia pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM).

Endereço⁽¹⁾: Av. Saturnino Rangel Mauro, 34 - Praia de Itaparica - Vila Velha - ES. CEP: 20102-032 - Brasil - Tel: (27) 999974206 – e-mail: karolineribeirodosantos@yahoo.com.br.

Endereço⁽²⁾: Rua 3, 400 – Coqueiral de Itaparica - Vila Velha - ES. CEP: 29102-912 - Brasil - Tel: (27) 999973302 - e-mail: rafaebuli@gmail.com.

Endereço⁽³⁾: Rua Alan Kardec, 106 - Vila Alvorada - Uberaba - MG - CEP: 38061-510 - Brasil - Tel: (34) 998280546 - e-mail: michele.barbosa@uftm.edu.br

RESUMO

Há algum tempo a vegetação vem sendo usada como um artifício em obras civis, uma vez que contribui para a estabilidade do solo, principalmente pelo aumento da resistência ao cisalhamento que é oferecido pelas raízes. O vetiver é uma vegetação que tem se revelado eficaz e de baixo custo na estabilização de taludes e diminuição de processos erosivos, e por isso tem sido utilizada em vários países. Em razão disto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a contribuição do vetiver no aumento da resistência e controle da erosão em solo de taludes de aterro sanitário. A gramínea foi escolhida, em virtude de suas características especiais, quanto a suportar diferentes condições climáticas e ser capaz de se desenvolver em qualquer tipo de solo. Foram realizados ensaios para análise e determinação dos índices físicos do solo, permeabilidade e de cisalhamento direto por meio de amostra deformada e compactada em laboratório. Para os ensaios foram utilizadas amostras do solo antes do plantio do capim vetiver, denominado “solo sem raiz”, e após o plantio, denominado “solo com raiz”. Com os resultados dos ensaios de cisalhamento direto, determinaram-se os parâmetros de resistência ao cisalhamento (intercepto de coesão e ângulo de atrito interno), verificando que o vetiver contribuiu com o aumento da coesão aparente ao solo. Além disso, o ensaio de permeabilidade mostrou um aumento do volume percolado no solo com raiz. Todos os dados corroboram para a conclusão de que o vetiver aumenta a resistência do solo, contribuindo para o reforço de taludes e diminuição de processos erosivos.

PALAVRAS-CHAVE: Vetiver, Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento, Aterro Sanitário, Estabilização de Taludes.

INTRODUÇÃO

O uso de vegetação já é uma técnica utilizada há tempos para controle de processos erosivos. O vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) é uma vegetação que tem se revelado eficaz e de baixo custo na estabilização de taludes. A utilização dessa planta tem sido realizada com eficiência em vários países no controle de processos erosivos, estabilização de taludes e remediação de áreas contaminadas.

Trata-se de uma planta aromática da família *Gramineae* originária da Ásia Tropical (Índia, Sri Lanka e Malásia). Consiste em uma planta herbácea, perene, cespitosa (em moita) que chega a atingir 2 metros de altura e com raízes que podem penetrar até 3 metros de profundidade (TRUONG *et al.*, 2008).

Barbosa (2012) afirma que a aplicação do vetiver em obras de engenharia é uma alternativa vantajosa e tem apresentado excelentes resultados na estabilização de taludes de estradas, ferrovias, canais, barragens, tanto pela sua eficiência como por seus custos reduzidos em comparação com as técnicas tradicionais de engenharia. No Brasil, tem-se utilizado vegetação em taludes de aterro sanitário, uma vez que, além de ser uma técnica de baixo custo, a vegetação faz com que o aterro sanitário fique mais harmonioso com o ambiente, sendo que algumas apresenta potencial de fitorremediação, como é o caso do vetiver.

O solo de taludes de aterro sanitário possuem fracas características coesivas do material que os recobre, são escassos de nutrientes e tem pH ácido, além do excesso de declive que pode causar erosão e contribuir para o deslizamento de terra. Todas essas características tornam o solo de difícil revegetação.

Para Orozco (2009), em atividades de revegetar taludes de aterro faz-se necessário a utilização de espécies específicas que consigam contribuir para o desenvolvimento das plantas nesses locais. Dessa forma, é preciso a escolha de uma planta que seja resistente às secas, sobreviva em condições de baixa fertilidade e tenha eficácia no revestimento do solo.

De acordo com Truong *et al.* (2008), o vetiver reúne todas as características necessárias, já que é uma planta resistente e adaptável a condições climáticas variáveis, sendo capaz de se desenvolver em diferentes tipos de solo, não possuindo necessidade de irrigação e adubação devido a sua rusticidade e tolerância à seca ou alagamento.

O estudo tem como objetivo avaliar a contribuição do vetiver no aumento de resistência oferecido ao solo, com base nos parâmetros de resistência do solo, intercepto de coesão e ângulo de atrito interno de uma talude de aterro sanitário do Centro de Tratamento de Resíduos de Vila Velha (CTRVV), localizado na cidade de Vila Velha, Estado do Espírito Santo

METODOLOGIA

Para verificação dos parâmetros de resistência dos solos foi selecionado um talude do aterro sanitário doCTRVV que apresentava problemas de estabilidade, devido presença vários processos erosivos e a falta de cobertura vegetal. A metodologia se dividiu em 4 etapas:

1ª Etapa: Coleta de amostras deformadas de solos e realização de ensaios de caracterização dos solos

As amostras do talude foram coletadas segundo a NBR 9.604 e levadas para o Laboratório para realização de ensaios de caracterização física, nos quais foram realizados:

- Análise Granulométrica Conjunta do Solo (NBR 7.181);
- Massa específica e massa específica aparente (NBR 6.458);
- Teor de umidade (NBR 16.097);
- Limite de Liquidez (NBR 6.459);
- Limite de Plasticidade (NBR 7.180);
- Permeabilidade de Solos (NBR 14.545).

A partir dos resultados do Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade foram determinados a plasticidade do pela diferença entre os resultados de limite de liquidez e limite de plasticidade e a consistência dos solos (Equação 1).

$$IC = \frac{LL-w}{LL-LP} \quad (1)$$

Onde: LL = Limite de Liquidez; LP = Limite de Plasticidade e w = Teor de umidade no estado natural

O pH do solo também foi medido por meio de um medidor de pH.

2ª Etapa: Plantio do vetiver

Esta etapa consistiu em plantar o vetiver no talude no mês de setembro de 2017. Foram plantadas 120 mudas (Figura 1) dispostas em fileiras com distância horizontal entre plantas de 40 cm e distância vertical de 1m, com profundidade das valas de 5 cm, seguindo recomendações de Lopes (2005) e Pereira (2006). O plantio aconteceu em período de chuva e em solo in natura.

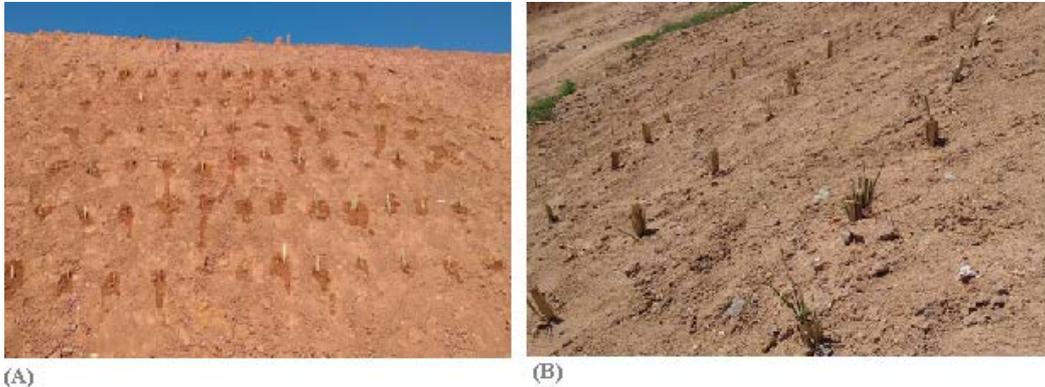


Figura 1: (A) Mudas do vetiver no dia de plantio e (B) Uma semana após plantio

3ª Etapa: Monitoramento do crescimento das mudas de vetiver

Esta etapa consistiu em visitas semanais durante um período de 8 meses. Foi feito um acompanhamento fotográfico das plantas, afim de avaliar o crescimento e desenvolvimento das mesmas (Figura 2).

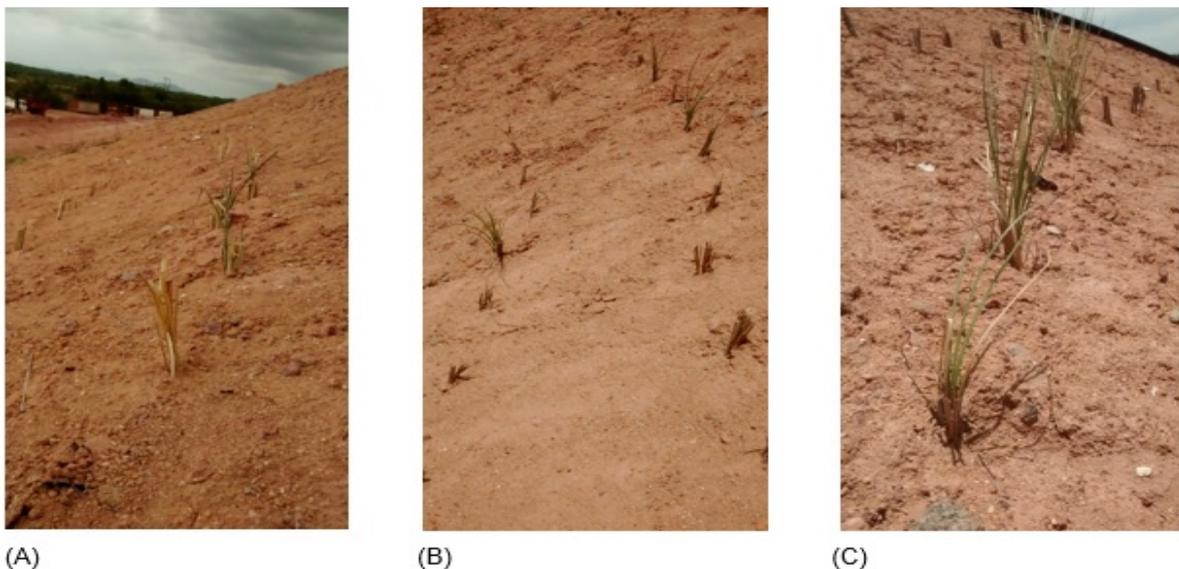


Figura 2: (A) Mudas do vetiver um mês após plantio, (B) três meses após plantio e (C) 8 meses após plantio

4ª Etapa: Coleta de solo do talude com vetiver e realização de ensaios de resistência

Os ensaios da primeira etapa foram realizados novamente para verificar se houve alteração das características do solo sem vegetação e após plantio do vetiver. Além disso foram realizados ensaios de Cisalhamento direto de acordo com a ASTM D 3080 com solo sem vegetação e com plantio de vetiver para verificar se o vetiver contribui para o aumento da resistência ao cisalhamento do solo.

O preparo das amostras foi realizado de acordo com a NBR 6457/86, seguindo os procedimentos usados em um ensaio de compactação, quanto a secagem à umidade higroscópica, destorroamento e peneiramento.

Não foi possível realizar a coleta de amostra indeformada do solo, devido ao tipo de solo do talude escolhido estar muito seco, solto e erodido, além de se tratar de talude de aterro sanitário onde as camadas de solo que

cobrem o lixo são de 30 cm. Sendo assim, foram coletadas amostras deformadas de solo e as mesmas foram compactadas em laboratório e moldadas de acordo com o Índice de Suporte Califórnia NBR 9895/87. A moldagem do corpo de prova foi realizada seguindo a NBR 7182/86, em um cilindro grande utilizando energia de compactação de Proctor Normal e umidade ótima de 17,60%.

Foram moldados dois corpos de prova cilíndricos grande, um com amostra de solo com raiz e o outro sem raiz. De cada um destes, foram retirados outros 3 corpos de prova para a realização do ensaio de cisalhamento. Esses corpos de provas foram obtidos através da cravação de anéis metálicos padronizados para a realização deste ensaio. Para cada corpo de prova confeccionado anotou-se suas dimensões (altura e lado).

Os ensaios de cisalhamento direto foram feitos com tensões normais de 100 KPa, 200 KPa e 300 KPa e a partir deles foram obtidos os valores de intercepto de coesão e ângulo de atrito interno do solo sem vegetação e após plantio do vetiver aplicando o Critério de Mohr – Coulomb (Equação 2):

$$\tau = c + \sigma \cdot \text{tg}\phi \quad (2)$$

Onde: τ = resistência ao cisalhamento do solo; c é o intercepto de coesão; σ é a tensão aplicada e ϕ é o ângulo de atrito interno.

Os resultados foram comparados para verificar se o vetiver contribui para o aumento da resistência ao cisalhamento do solo.

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS SOLOS

Não houve variação das características físicas com a implantação do vetiver, ou seja, o solo tanto sem vegetação como com o plantio de vetiver apresentou aproximadamente os mesmos valores.

A análise granulométrica conjunta do solo está apresentada pela curva granulométrica da Figura 3 no qual foi definido como uma areia argilosa segundo escala da ABNT.

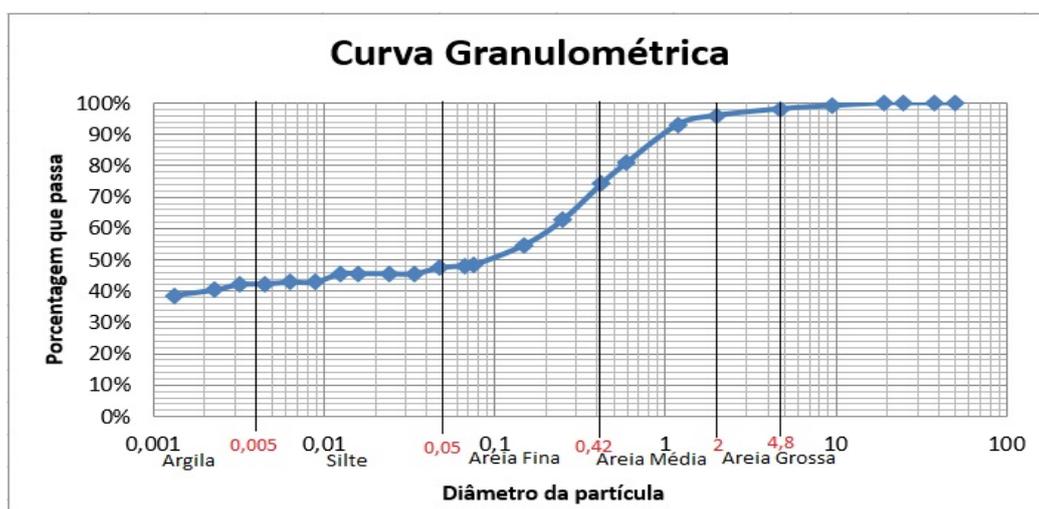


Figura 3: Curva granulométrica do Solo

A Tabela 1 apresenta os resultados dos outros parâmetros físicos analisados. O índice de plasticidade e índice de consistência do solo apresentaram respectivamente, plasticidade média e consistência dura. O solo de estudo também apresentou um pH ácido, com um valor de 5,01.

Tabela 1: Resultados dos parâmetros físicos do solo

| Ensaio | Resultado |
|----------------------------|------------------------|
| Massa Específica dos Grãos | 2,40 g/cm ³ |
| Teor de Umidade Natural | 16,43% |
| Densidade do solo | 1,58 g/cm ³ |
| Limite de Liquidez | 39,8 |
| Limite de Plasticidade | 24,96 |

Com os resultados de caracterização física determinou-se o índice de vazios do solo (e) e pelo ensaio de permeabilidade foi possível verificar o volume de água percolado do solo sem vegetação, denominado solo sem raiz e solo com plantio do vetiver, denominado solo com raiz. Os resultados podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados ensaio de Permeabilidade do Solo

| | Volume de água Percolado | | |
|----------------------|---------------------------|------|-------------------------------------|
| | Volume (cm ³) | e | Volume percolado (cm ³) |
| Solo sem raiz | 317,87 | 0,32 | 77,32 |
| Solo com raiz | 288,24 | 0,39 | 80,68 |

RESULTADOS DO ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto do solo sem vegetação e com plantio de vetiver estão apresentados na Figura 4 e Tabela 3.

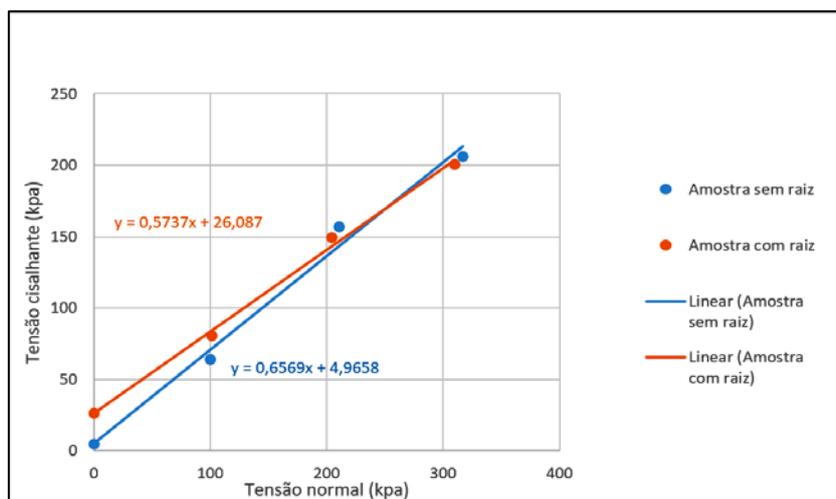


Figura 4: – Envoltórias de ruptura da amostra de solo sem raiz e com raiz de vetiver

Tabela 3: Resultados obtidos do ensaio de cisalhamento direto

| Material | Ângulo de atrito (°) | Coesão(KPa) |
|----------------------|----------------------|-------------|
| Solo sem raiz | 33,301 | 4,966 |
| Solo com raiz | 29,843 | 26,087 |

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os ensaios de caracterização física do solo deram resultados típicos de solos finos devido à presença de 42% de argila. Segundo Ortigão (2007), solos arenosos tendem a apresentar maior resistência, pois quando

submetidos a forças externas tendem a ocupar os espaços vazios mais facilmente, aumentando assim o contato entre os grãos. Em casos de solos finos como a argila e o silte, a análise de resistência é mais complexa, uma vez que seus grãos têm maior suscetibilidade à mudanças quando expostos a determinados processos físicos, químicos ou climáticos, e essa variação fará com que aumente ou diminua a resistência desse solo.

Por meio do monitoramento das mudas do vetiver observou-se que a maioria das plantas não sobreviveu, restaram apenas 12. Acredita-se que isso se deve as condições climáticas, baixa espessura do solo acima da camada de resíduo, solo ser pobre em nutrientes e apresentar um pH ácido, o que contrapõe às afirmações dos autores como Pereira (2006) e Truong *et al.*, (2008), de que a espécie é indicada para ser usada em qualquer tipo de clima e solo.

As plantas que sobreviveram apresentaram um bom crescimento e profundidade de raízes ficou em torno de 30 cm, conforme mostra Figura 5.

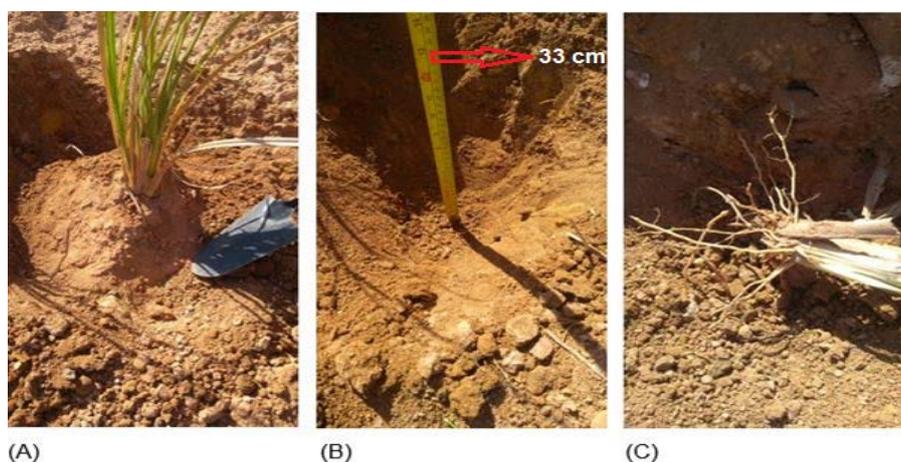


Figura 5: (A) Coleta de amostra deformada de solo – março de 2018; (B) Profundidade da raiz do capim Vetiver; e (C) Raiz do vetiver.

Foi possível observar que a presença de raízes no solo aumentou o número de vazios do solo e consequentemente o volume de água percolado no solo com raiz em comparação ao solo sem raiz.

Fiori e Carmignani (2009) diz que a presença de raízes no solo tende a aumentar a infiltração de água no solo. Além disso, o autor relata que quanto maior o número de vazios, maior será o coeficiente de permeabilidade. Corroborando com o autor, Coelho e Pereira (2006), Barbosa (2012) e Truong *et al.*, (2008), relatam que a presença de raízes e ramos aumentam a rugosidade da superfície, diminuindo o escoamento superficial e aumentando a taxa de infiltração no solo, a porosidade e os canais de sucção.

Comparando os parâmetros de resistência ao cisalhamento percebe-se que houve uma pequena variação do ângulo de atrito que diminuiu e um aumento considerável da coesão no percentual de aproximadamente 525%.

Sabe-se que quanto maior a coesão do solo, mais compacto este se encontra e maior é a sua resistência. Dessa forma, o resultado de coesão alcançado nesse trabalho corrobora com Barbosa (2012) e Lemes (2001), que afirmam que o aumento da coesão aparente é a principal contribuição das raízes para o solo, no que se diz respeito à resistência ao cisalhamento. A autora ainda afirma que as raízes do capim vetiver oferecem uma parcela de coesão aparente ao solo, o que auxilia no processo de estabilidade.

Embora a recomendação para uma avaliação efetiva da atuação da raiz no reforço do solo seja com 3 anos de plantio, para este estudo, os ensaios ocorreram com apenas 8 meses de cultivo. Porém, mesmo com pouco tempo, foi possível perceber o aumento considerável da coesão do solo com a raiz.

Estudos realizados por autores como Ziemer (1981), Tengbeth (1989) e Waldron (1997), revelam que o reforço dado pelas raízes ao solo pode ser significativo no aumento da resistência, mesmo quando há uma baixa densidade das mesmas. Segundo Fiori e Carmignani (2009), a coesão aumenta de acordo com o aumento

da densidade das raízes, ou seja, a planta exercerá maior influência junto a superfície do solo, pois é onde se encontra maior densidade das raízes.

Embora o ângulo de atrito também seja considerado um parâmetro de resistência, observou-se neste estudo que não houve alteração significativa deste parâmetro, corroborando com autores como Chaulya et al. (2000) e Barbosa (2012), que também concluíram em suas pesquisas pouca variação do ângulo de atrito, o que leva a concluir que o principal parâmetro de resistência do solo em relação à presença de raízes é o aumento significativo da coesão.

Com o resultado do ensaio de cisalhamento juntamente com a análise da permeabilidade, pode-se afirmar que houve um aumento da resistência e da água percolada no solo, resultando no aumento da estabilidade do talude e redução da erosão devido a diminuição do escoamento superficial. Mesmo com pouco tempo de plantio foi possível perceber o aumento considerável da coesão do solo com a raiz.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem indicar as seguintes conclusões:

Foi possível avaliar que a presença do capim vetiver no solo contribuiu para o aumento da coesão do solo, portanto houve um aumento de resistência.

Foi verificado em campo diminuição dos processos erosivos e estabilidade do talude de estudo, mesmo com a presença de poucas plantas.

Embora a literatura afirme que as raízes do vetiver podem chegar até 3 metros de profundidade, isso não foi evidenciado em campo. A morte de algumas plantas deve-se ao fato de se tratar de um solo de aterro sanitário onde há uma escassez de nutrientes e pH ácido. A profundidade das raízes do vetiver deve estar relacionada ao tipo de solo, idade da planta, condições climáticas, dentre outros fatores.

Em relação a permeabilidade do solo, ficou evidenciado que as raízes contribuíram para o aumento da mesma, o que leva a diminuição do escoamento superficial e conseqüentemente da erosão do solo.

Como o solo do talude estudado nesta pesquisa é um solo de aterro sanitário, e o tempo máximo para a planta se desenvolver foi de apenas 8 meses, é possível dizer que o aumento da resistência se dá para rupturas rasas, já que o tamanho máximo alcançado pela raiz foi de 30 a 40 cm.

Devido todos os resultados é possível afirmar que o vetiver é eficiente para a estabilização de taludes.

Recomenda-se uma avaliação para um prazo de plantio maior e diferentes tipos de solos para verificar melhores resultados de reforço do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro, 2016.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6458: Determinação da massa específica, massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16097: Determinação do teor de umidade do solo. Rio de Janeiro, 2012.



7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14545: Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável. Rio de Janeiro, 2000.
8. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D 3080: Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. West Conshohocken, PA, 1998.
9. BARBOSA, M.C.R. Estudo da aplicação do vetiver na melhoria dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos em taludes. Ouro Preto, 2012. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Ouro Preto, 2012.
10. CHAULYA, S. K.; SINGH, R. S.; CHAKRABORTY, M. K. e SRIVASTAVA, B. K. Quantification of stability improvement of a dump through biological reclamation. Geotechnical and Geological Engineering, n. 18, p.193-207, 2000.
11. COELHO, A. T; PEREIRA, A, R . Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas. Boletim Técnico. Belo Horizonte: Editora Fapi Ltda, 2006.
12. FIORI, A.P. e CARMIGNANI, L. Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas, aplicações na estabilidade de taludes. 2.ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2009.
13. LEMES, M.R.T. Revisão dos efeitos da vegetação em taludes. Porto Alegre, 2001. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.
14. LOPES, M. H. Capim Vetiver. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas –SBRT. REDETEC – Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.
15. OROZCO, M. M. D. Caracterização da Gramínea Vetiveria Zizanioides para Aplicação na Recuperação de Áreas Degradadas por Erosão. Belo Horizonte, 2009. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, 2009.
16. ORTIGÃO, J. A. R. Introdução a Mecânica dos Solos dos Estados Críticos. 3ª edição. Rio de Janeiro: Terratek, 391p. 2007.
17. PEREIRA, A. R. Uso do Vetiver na estabilização de taludes e encostas. Boletim Técnico. Belo Horizonte: Editora Fapi Ltda, 2006.
18. TENGBETH, G. T. The Effect of Grass Cover on Bank Erosion. Silso e College, Cranfield Institute of Technology. PhD Thesis. 234p. 1989.
19. TRUONG, P.; VAN, T. T. & PINNERS, E. Vetiver System applications: technical reference manual. 2 ed. Vietnam: The Vetiver Network International, 2008.
20. WALDRON, L. J. The Shear Resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil. J. Soil Sci. Soc. Am., n. 41, p. 843-849, 1997.
21. ZIEMER, R. R. Roots and Stability of Forested Slopes. Int. Assoc. Hidrol. Sci., n. 132, p. 343-361, 1981.