

EFEITOS DA VEGETAÇÃO NA ESTABILIDADE DE TALUDES E ENCOSTAS



Talude com proteção (30dias)

Talude sem proteção (30dias)



BOLETIM TÉCNICO:

Veículo de divulgação de material técnico da DEFLOR Bioengenharia.
O Boletim Técnico publica, trimestralmente, trabalhos originais de contribuição técnica-científica no campo da engenharia ambiental e áreas afins. Os trabalhos são submetidos à comissão editorial, para avaliação, revisão e aprovação.

COMISSÃO EDITORIAL:

Aloísio Rodrigues Pereira - DEFLOR Bioengenharia.
Terezinha Cássia Brito Galvão - UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
Gustavo Ferreira Simões - UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
Luiz Augusto Barreto Lucena - DEFLOR Bioengenharia.
Diego Aniceto Oliveira - ENGETA Engenharia e Tecnologia Ambiental
Arnaldo Teixeira Coelho - Ingá Engenharia

REVISOR: Maria de Lourdes (Tucha)

CIRCULAÇÃO: Departamento de Comunicação da DEFLOR Bioengenharia

IMPRESSÃO: Editora FAPI Ltda.

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA:

Rua Major Lopes, 852 - São Pedro - CEP: 30330-050 - Belo Horizonte, MG
Tel.: 55 (31) 3284-5622 FAX: 55 (31) 3284-5688
E-MAIL: deflor@deflor.com.br

TIRAGEM: 5000 exemplares

DISTRIBUIÇÃO GRATUITA (Reprodução permitida desde que indicada a fonte)

EFEITOS DA VEGETAÇÃO NA ESTABILIDADE DE TALUDES E ENCOSTAS

Arnaldo Teixeira Coelho*
Aloísio Rodrigues Pereira**

RESUMO

Este trabalho enfatiza a importância do uso adequado da vegetação em taludes e encostas, para melhorar a solidez da área, mostrando os mecanismos de interferência entre a vegetação e a estabilidade de taludes e encostas.

Realizou-se ampla revisão de literatura sobre este assunto, já que, no Brasil, quanto ao uso da vegetação em taludes e encostas, a preocupação é deixar o local revegetado e verde, mediante utilização de plantas e a estabilidade da área.

Os efeitos da precipitação, da evapotranspiração, da umidade no solo, além de outros fatores que afetam a interface planta e a estabilidade de taludes e *encostas* também foram discutidos.

1 – INTRODUÇÃO

A vegetação vem sendo utilizada na engenharia, há séculos, no controle de processos erosivos e como proteção e reforço em obras civis. As técnicas que conjugam a utilização desse elemento vivo na engenharia são denominadas bioengenharia de solos (KRUEDENER, 1951). Essas operações, em decorrência de seu baixo custo, requerimento técnico relativamente simples para instalação e manutenção, adequação paisagística e ambiental, têm encontrado largo campo de aplicação em regiões tropicais e semitropicais, já que nelas as condições favoráveis ao crescimento da vegetação ocorrem durante quase todo o ano.

Sua importância, freqüentemente, é verificada quando se procede à sua supressão. Após a retirada de recobrimento vegetativo por colheitas ou desmates, na maioria das vezes ocorre intenso aumento de processos erosivos e de instabilização de taludes. A retomada do crescimento pela vegetação, por sua vez, promove a diminuição desses processos.

* Eng.º Florestal; Doutor em Saneamento e Recursos Hídricos e Diretor da INGÁ Engenharia. Rua Timbiras, 1560/sl. 909 – Funcionários – Belo Horizonte, MG – Brasil – E-mail: arnaldocoelho@hotmail.com.

** Eng.º Ambiental; Eng.º Civil e Eng.º Florestal; Doutor em Solos e Diretor da DEFLOR Bioengenharia Rua Major Lopes, 852 – São Pedro – CEP: 30.330.050 – Belo Horizonte, MG – Brasil – E-mail: deflor@deflor.com.br

Entretanto, a utilização da vegetação na engenharia, especialmente em operações de controle de erosão, muitas vezes tem sido vista como panacéia pela maioria dos planejadores (COELHO; GALVÃO, 1998). Exemplos da utilização inadequada são freqüentemente relatados na literatura. Stocking (1996) relaciona duas situações em que o abafamento da vegetação herbácea causada pela introdução de arbóreas de rápido crescimento para controlar processos erosivos ocasionou o agravamento destes. Esses exemplos ocorreram no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, durante o uso de *Eucalyptus ssp.*, para controle de processos erosivos em sulco; e em Mondoro, no Zimbábwe, onde árvores plantadas para o controle de ravinamentos provocam a evolução destes.

O uso da vegetação para controle de processos erosivos, portanto, deve ser criterioso, já que pode interferir intensamente na transferência da água da atmosfera para o solo nas águas de infiltração (FERGUSON, 1994) e nos sistemas de drenagem superficial (MORGAN, 1994). Dessa forma, pode causar alterações no volume e na intensidade do escoamento pluvial e nas taxas de erosão superficial. Pode, ainda, interferir nos valores da umidade no solo afetando, por conseguinte, seus parâmetros geotécnicos como fricção e coesão (GREENWAY, 1987).

2 – MECANISMOS DE INTERFERÊNCIA ENTRE A ESTABILIDADE DO SOLO E A VEGETAÇÃO

Pereira (1999) relata que a vegetação exerce influência significativa na estabilidade de talude das encostas, mas as plantas podem ter influência positiva ou negativa, sendo de grande importância o conhecimento das espécies para aplicação nos locais desejados.

Os principais efeitos positivos das plantas são:

❖ RAÍZES

- Agregam partículas de solo, aumentando a coesão.
- Aumentam a resistência do solo
- Aumentam a taxa de infiltração de água no solo
- Aumentam a porosidade
- Funcionam como canais de sucção

❖ CAULE / FOLHAS

- Reduzem a erosão pelo Efeito Splash
- Reduzem a erosão laminar
- Aumentam a rugosidade
- Plantas rasteiras recobrem eficientemente o solo

Os principais efeitos negativos das plantas são:

❖ RAÍZES

- Podem danificar estruturas cimentadas
- Raízes secas podem concentrar fluxo de água pluvial
- Raízes finas e superficiais impedem a infiltração e desagregam partículas de solo (bambu)

❖ CAULE / FOLHAS

- Árvores em taludes – o peso aumenta as forças atuantes provocando deslizamentos
- Plantas altas, de folhas largas, podem causar erosão – efeito Splash
- Vento em árvores produz forças sobre as massas de solo, ativando deslizamentos.

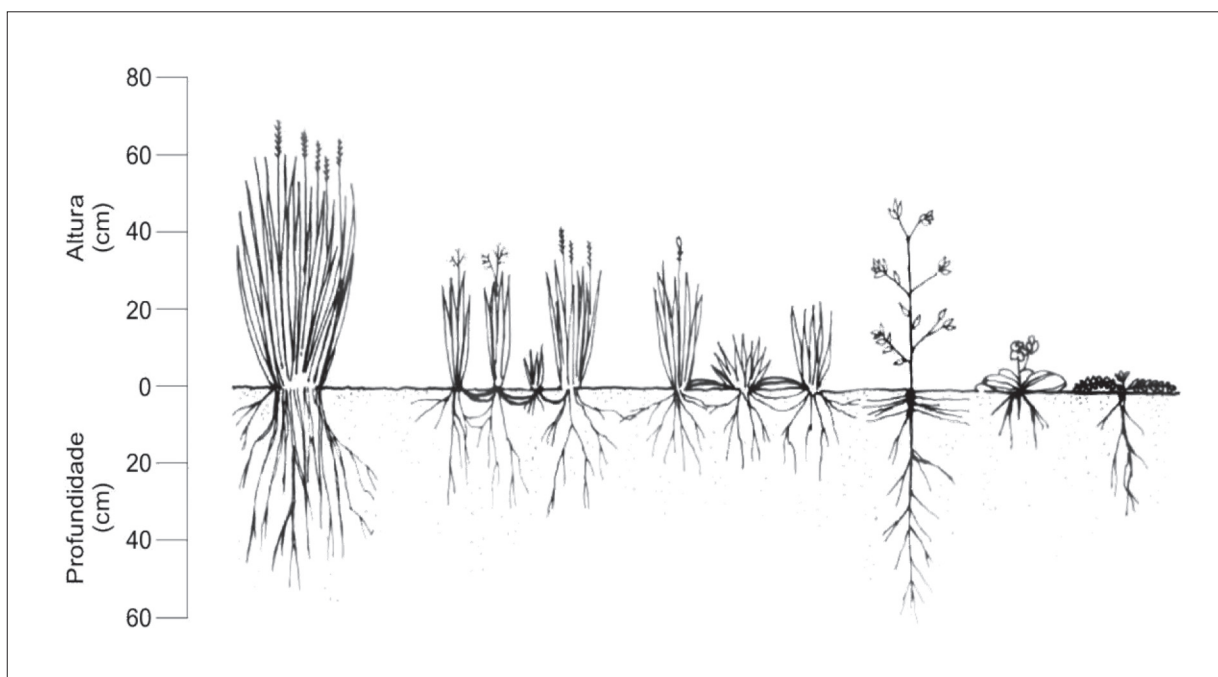


FIGURA 1 – Espécies de gramíneas e leguminosas, mostrando arquitetura de raízes e parte aérea das plantas.

A Figura 1 mostra a profundidade e a arquitetura das raízes, que terão papel fundamental na estabilidade na estabilidade da área.

É interessante salientar que existem espécies com grande profundidade do sistema radicular, chegando até 4 metros, como no caso do capim vetiver, e exerce o papel de atirantamento do solo, cuja resistência da raiz é de 1/6 do aço doce. Além disso é uma espécie recomendada por todos os órgãos ambientais internacionais, em razão de não ser invasora, não se reproduzindo por sementes, rizomas ou estolões, apenas por mudas.

O uso do capim vetiver em obras de engenharia é uma alternativa vantajosa e tem apresentado resultados surpreendentes em estradas, ferrovias, canais, barragens, tanto pela sua eficiência como por seus custos reduzidos em comparação com as técnicas tradicionais de engenharia.

De acordo com Hengchaovanich (1998), as raízes do vetiver apresentam resistência à tração de 75 MPa e oferecem grande aumento na resistência ao cisalhamento, que está entre 6 e 10 KPa por quilo de raiz por m³ de solo, em comparação com valores entre 3,2 a 3,7 KPa por m³ de solo de raízes de árvores.

É importante que as aplicações do vetiver sejam realizadas por especialistas que conheçam as reais necessidades de proteção e características das regiões, para que se possam aplicar outras técnicas complementares para garantir o sucesso e a segurança do meio ambiente.

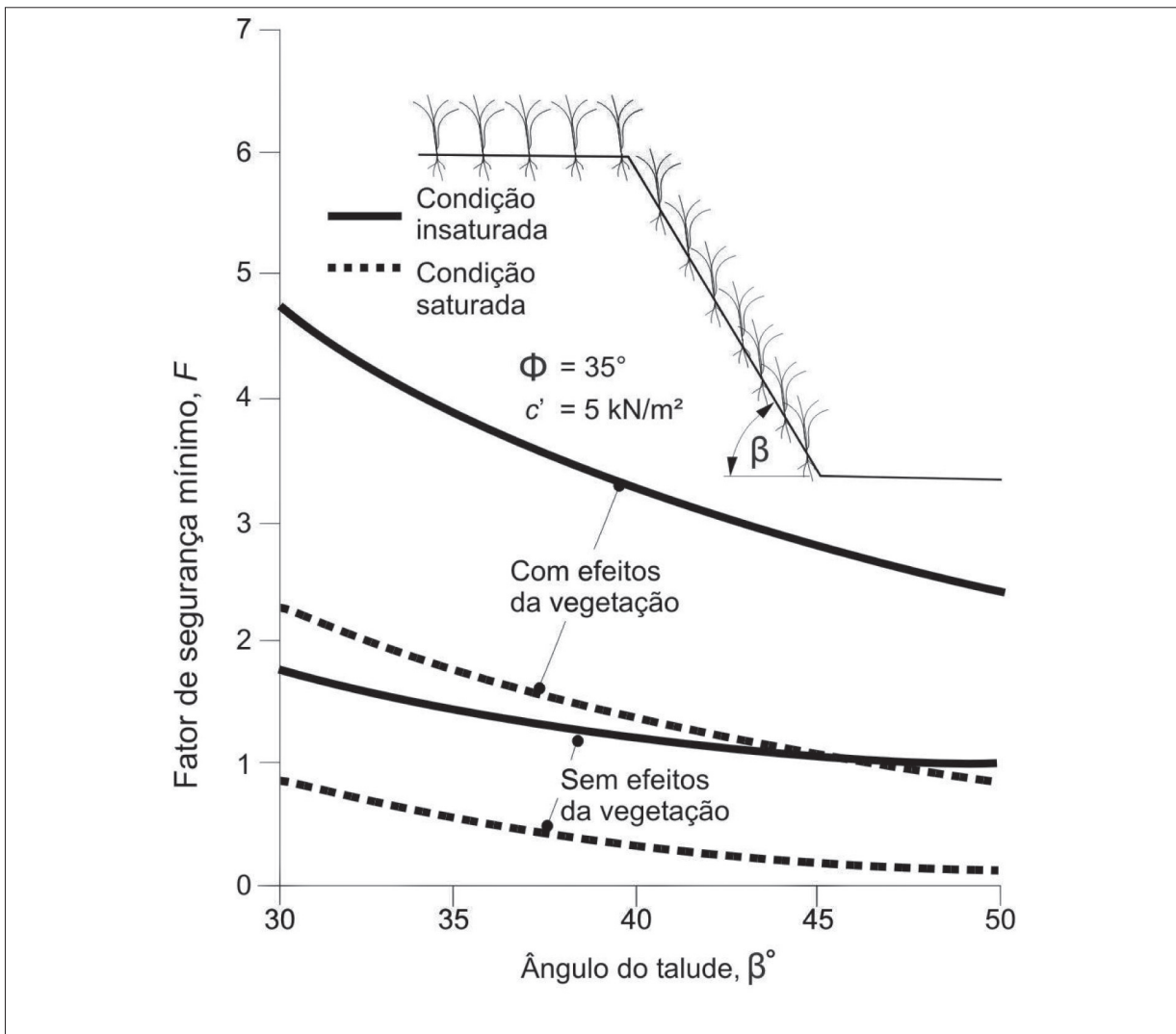


FIGURA 2 – Efeito da vegetação na estabilidade de talude, em função do fator de segurança e inclinação do talude.

A Figura 2 mostra o efeito da vegetação na melhoria da estabilidade do talude, quando comparado à mesma condição de um talude com e sem vegetação, em razão da inclinação e do fator de segurança. Para uma inclinação de 45° , sem proteger o talude com vegetação na condição insaturada, o fator de segurança é de 1,3; quando ocorre a proteção vegetal no talude, o fator de segurança é de 2,8; ou seja, uma melhoria muito significativa da estabilidade.

Na condição saturada, a vegetação também contribui para melhorar a estabilidade do talude. Castillo *et al.* (1997) relacionam diferentes citações de trabalhos desenvolvidos que demonstraram haver correlação exponencial negativa entre o valor do recobrimento vegetal médio e a perda de solos.

Os principais mecanismos de interferência entre a estabilidade do solo e a vegetação constituem-se de:

2.1 – Reforço da massa do solo pelas raízes

As raízes das plantas exercem função de estabilização das partículas do solo, por meio de diversos mecanismos, como o aumento da resistência ao cisalhamento, promovido especialmente pelas radículas, que mantêm maior relação superfície / volume radicular; e com a estabilização de movimentos de massa pelo efeito das raízes, especialmente as pivotantes, que atuam de maneira semelhante à dos “tirantes vivos”, promovendo o ancoramento de grandes massas de solo. Esse efeito de “tirantes vivos” é especialmente verificado em perfis do solo com diferenças significativas entre resistência ao cisalhamento ao longo da profundidade do perfil como em solos residuais. Gray (1978) demonstrou esse efeito pela ocorrência de massas de solo de saprólitos de granito estabilizadas por árvores de *Pinus sp.* Ele verificou que massas de solos localizadas a montante de indivíduos dessas espécies apresentavam maior estabilidade que solo de locais sem a influência das raízes desses indivíduos.

O aumento da resistência ao cisalhamento do solo está vinculada diretamente à transferência direta das tensões de cisalhamento para resistência das raízes à tensão. Essa transferência ocasiona incrementos consideráveis na resistência ao cisalhamento dos solos, com consequente redução da erodibilidade, e no aumento da estabilidade do solo.

Esse efeito é denominado reforçamento radicular e pode variar em decorrência de fatores como: (i) valores de resistência à tensão das raízes; (ii) propriedades da interface entre as raízes e o solo; (iii) concentração, características de ramificação e distribuição das raízes no solo – também denominada arquitetura radicular; (iv) espaçamento, diâmetro e massa de solo explorada pelas raízes; (v) espessura e declividade do perfil do solo do talude; (vi) parâmetros geotécnicos relativos à resistência ao cisalhamento do solo. Esses fatores que regulam o reforçamento radicular, por sua vez, podem ser influenciados pela espécie da planta, pelas variações ambientais nas condições de crescimento e pela época do ano.

Com relação às espécies de plantas, verifica-se que as coníferas apresentam menor resistência à tensão radicular do que árvores decíduas. Arbustos apresentam resistência radicular a tensão comparável a árvores, oferecendo em relação a estas diversas vantagens, como menor potencial de sobrecarga sobre solos e menor tendência a tombamentos pelo vento, quando comparados às espécies arbóreas.

O diâmetro das raízes, em geral, é inversamente proporcional à resistência radicular a tensão. Raízes finas possuem a vantagem de não apenas possuírem altas resistências à tensão radicular, mas também maiores resistências ao arranquio, dada sua alta superfície específica se comparada a raízes de maior diâmetro. Essa relação entre resistência radicular e diâmetro pode ser expressa na forma de uma simples equação logarítmica dada por:

$$Tr = n Dm$$

Tr = resistência radicular a tensão

D = diâmetro de raízes

n e m = constantes empíricas específicas para plantas

O corte, as lesões graves ou a debilidade fisiológica das plantas podem fazer decrescer a estabilidade dos solos, dada a redução da resistência à tensão das raízes. As raízes de menor diâmetro são, nessas ocasiões, as primeiras a fenecer e a desaparecer. Com o passar do tempo ocorre um declínio na resistência à tensão das raízes que atinge um valor mínimo, que pode voltar a crescer com a emissão de novas radículas pela vegetação fisiologicamente ativa (GRAY; SOTIR, 1996).

A elevada concentração de fibras radiculares de pequeno diâmetro é mais efetiva do que poucas raízes de diâmetro maior para o aumento da resistência ao cisalhamento de massas de solos permeadas por raízes. Esse aumento à resistência será diretamente proporcional à profundidade explorada pelas raízes. A ação mais eficiente nesse aumento da resistência é verificada quando as raízes penetram ao longo do manto de solo até fraturas ou fissuras presentes na camada de rocha matriz; ou onde raízes penetrem ao longo de solos residuais; ou em zonas de transição em que a densidade e a resistência do solo ao cisalhamento aumentem com a profundidade, atingindo esses pontos. Nesse caso, as raízes se fixam, promovendo a transferência de forças de zonas de menor resistência ao cisalhamento para zonas de maior resistência a ele (GREENWAY, 1987). Esse efeito estabilizador é minimizado quando ocorre pouca penetração das raízes ao longo do perfil e, logo, das diferentes resistências ao cisalhamento ao longo da profundidade. Mesmo nesses casos, as raízes laterais podem exercer importante papel, em decorrência da manutenção de um manto contínuo de raízes ao longo das camadas superficiais, aumentando a resistência destas a processos erosivos. Entretanto, dadas as exigências de oxigenação pelas células das raízes, elas tendem a se concentrar próximas à superfície.

O principal efeito das fibras do sistema radicular da vegetação no reforçamento de solos, para Sotir e Gray (1997), está relacionado ao incremento da coesão aparente. De acordo com esses autores, a coesão efetuada pelas fibras radiculares pode fazer uma diferença significativa na resistência a deslizamentos superficiais ou em movimentações por cisalhamento na maioria de solos arenosos com pouca ou nenhuma coesão intrínseca. Eles demonstram, ainda, que em testes executados em condições de campo e de laboratório foi verificado o aumento da resistência ao cisalhamento por unidade de concentração de fibra radicular da ordem de 7,4 a 8,7 psi / lb de raízes / cf em diferentes espécies de plantas. Além disso, ao efetuarem a análise da estabilidade de taludes, utilizaram a coesão radicular como função da concentração de raízes no solo com a profundidade, verificando que uma pequena variação na coesão radicular pode influenciar substancialmente o fator (coeficiente) de segurança dos taludes. Essa influência foi consideravelmente verificada nas menores profundidades de solo.

2.2 – Modificações no regime hídrico do solo

2.2.1 – Evapotranspiração e depleção da umidade no solo

A evapotranspiração pode ser definida como a remoção da umidade do solo pela transpiração das plantas e pela evaporação da parcela de água interceptada da chuva pela superfície das plantas. Normalmente, a sucção radicular absorve a água do solo até certo limite, quase sempre próximo ao valor do potencial hídrico do solo. A capacidade de a vegetação alterar o conteúdo de água no solo é comprovada e intrinsecamente vinculada ao comprimento e

extensão das raízes. O efeito da vegetação na depleção da umidade dependerá da espécie vegetal, da profundidade, da época do ano e do estado fisiológico da vegetação, podendo estar vinculada a um ou mais desses fatores concomitantemente (BIDDLE, 1983).

Como resultado da redução da umidade do solo, ocorrem alterações significativas no equilíbrio de forças deste, que reduzem os valores de poropressão da água em condições de saturação, aumentam a quantidade de água necessária para que ocorram essas condições e faz com que a quantidade de água precipitada necessária para causar instabilidade sobre um solo com vegetação seja maior do que a necessária para um solo sem vegetação, aumentando o coeficiente de segurança de taludes em condições de saturação, na maioria das vezes em que é utilizada.

2.2.2 – Intercepção da chuva

A intercepção das gotas de chuva pela parte aérea da vegetação varia com a intensidade e o volume desta e com as características da superfície foliar. Coppin e Richards (1990) estimam uma intercepção média de 30%, ao longo do ano, para locais com revestimento arbóreo.

2.2.3 – Redução do volume e ação erosiva do escoamento superficial

Como resultado da combinação dos aumentos dos valores de rugosidade superficial, infiltração e intercepção, a enxurrada de áreas recobertas por vegetação é muito menor que as de solo descoberto. Em pequenas áreas de contribuição recobertas por árvores e gramíneas, ela corresponde a valores que variam entre 10% a 20% do volume de água precipitados, entre 30% a 40% sob áreas cultivadas e entre 60% a 70% em assentamentos urbanos.

2.2.4 – Velocidade do escoamento

A vegetação reduz a velocidade das enxurradas por causa da rugosidade apresentada no escoamento superficial pelas estruturas da parte aérea da vegetação. Em termos hidráulicos, a rugosidade pode ser caracterizada por um parâmetro como o coeficiente de Manning (n), da equação da velocidade média do escoamento:

$$v = (R^{2/3} S^{1/2}) / n,$$

R = raio hidráulico,

S = declividade da superfície de escoamento.

n = constantes empíricas específicas para plantas

A rugosidade hidráulica e, conseqüentemente, o retardamento do escoamento dependerão tanto da morfologia das plantas quanto da densidade de crescimento, da altura das plantas e da espessura da lâmina d'água.

2.2.5 – Infiltração

A vegetação pode aumentar os índices de infiltração por diferentes fatores distintos como: (i) raízes fisiologicamente ativas; (ii) canais ou fissuramentos ocasionados por raízes decaídas; (iii) aumento da rugosidade hidráulica; (iv) aumento da porosidade efetiva do solo; (v) alterações estruturais do solo (LINSLEY; FRANZINI, 1972; CUSTÓDIO; LLAMAS, 1990; MORGAN, 1994).

Coppin e Richards (1990) relatam que o aumento da infiltração de enxurradas e o da precipitação podem aumentar, também, o teor de umidade do solo, em comparação a áreas não vegetadas. Ainda segundo esses autores, tais efeitos são reduzidos pela ação da interceptação e da transpiração inerentes ao desenvolvimento da vegetação.

A vegetação permite eliminar por completo processos de selamento superficial, caracterizados pela impermeabilização da camada subsuperficial do solo, decorrente da oclusão de macroporos por partículas do solo mobilizadas pelo impacto das gotas de chuva (FERGUSON, 1994).

2.2.6 – Drenagem subsuperficial

O escoamento subsuperficial pode ser favorecido em superfícies inclinadas, ocorrendo entre a camada de biomassa decomposta e em decomposição e as camadas superficiais entremeadas por uma densa rede de raízes, caracterizando uma direção de escoamento paralela à superfície do solo. Esse regime de fluxo pode corresponder a 80% do total de água drenada de um talude. Além disso, a permeabilidade horizontal do solo das camadas superficiais de áreas bem vegetadas geralmente apresenta valores superiores a áreas não vegetadas. Esses processos de escoamento podem favorecer a ocorrência de processos de deslizamento de massas de solo subsuperficiais (até 1,5 m).

2.3 – PROTEÇÃO DO SOLO CONTRA OS AGENTES EROSIVOS

2.3 – Recobrimento do solo

A parte aérea da vegetação e a matéria orgânica em decomposição ou humificada, protegem o solo tanto dos processos de mobilização e carreamento de sedimentos pela ação dos agentes erosivos como o vento, água ou gelo. Dessa maneira, as forças trativas, como as verificadas nas bordas das gotas de chuva (NEARING *et al.*, 1987), responsáveis por até 98% da mobilização de sedimentos em solos arenosos (MCCULLAH, 1994), são dissipadas pela ação interceptadora do material orgânico.

Sob condições normais, o recobrimento do solo por capim ou vegetação herbácea densos proporciona melhor proteção contra a erosão laminar e a ação do vento.

A efetividade (redução da quantidade de solo perdida) do recobrimento vegetativo pode ser verificada na porcentagem de efetividade para diferentes recobrimentos.

QUADRO 1

Porcentagem de redução da erosão em razão de diferentes condições de recobrimento em condições temperadas

Tipo de recobrimento	Redução (%)
Controle (sem recobrimento)	0,0
Semeio de espécies herbáceas:	
centeio (perene)	95
centeio (anual)	90
capim Sudão	95
Pastagem nativa de ciclo anual (máximo)	97
Semeio de espécies herbáceas permanentes	99
Mulch	
Feno, índice de aplicação (ton / ha)	
2,0	75
4,0	87
6,0	93
8,0	98
Palha de grãos pequenos (diâmetro < 10 mm), 8,0 ton / ha	98
Serragem, 24 ton / ha	94
Celulose de madeira, 6,0 ton / ha	90
Fibra de vidro, 6,0 ton / ha	95

Fonte: Adaptado do USDA Soil Conservation Service, 1978.

Coppin e Richards (1990) afirmam que o máximo efeito do recobrimento vegetativo é obtido do recobrimento efetivo de 70%. Nickson e Morgan (1988) verificaram que diferentes tipos de vegetação de porte idêntico apresentaram diferenças significativas na intensidade de perda de solo. Essas variações apresentaram valores da ordem de 400% a 500% para parcelas de 1 metro e 2 metros de altura, respectivamente.

Por isso, Wiersun (1985) afirma que a presença de recobrimento superficial da biomassa decaída e decomposta pode proporcionar a redução da ordem de 93% na perda de solo, quando comparado a superfícies desnudas localizadas abaixo de dosséis arbóreos, ilustrando a extrema importância da presença dessa biomassa em povoamentos florestais, especialmente em locais inclinados, onde a deposição da folhagem das árvores será dificultada pelo carreamento destas pela enxurrada.

Efeito semelhante ao da biomassa decaída pode ser conseguido com a aplicação de recobrimento do solo por *mulch* – resíduos, geralmente de origem vegetal, aplicados sobre a superfície do solo (DULEY; RUSSEL, 1939 *apud* PIERCE; FRIE, 1998). Esse material, atuando de maneira idêntica à da vegetação decaída presente no solo, normalmente promove a redução da evapotranspiração e protege a superfície do solo pela redução da intensidade de escoamento

2.3.2 – Isolamento do solo

O recobrimento vegetativo modifica sensivelmente o microclima superficial, reduzindo as variações da umidade e a temperatura do solo. Essa ação isolante relaciona-se a processos de redução da coesividade do solo pela quebra de agregados e pelo enfraquecimento da estruturação dadas as variações na temperatura, especialmente após ciclos de esfriamento significativo.

2.4 – Vegetação decaída – Matéria orgânica

A matéria orgânica do solo, composta pela fração não reconhecível sob um microscópio ótico que apresenta organização celular de material vegetal é denominada *húmus*, a qual inclui as substâncias húmicas, processualmente definidas em frações, baseadas em sua solubilidade em diferentes valores de pH; e o grupo de substâncias não húmicas, como carboidratos, proteínas, lipídios e ácidos orgânicos, nos quais a fórmula química para as subunidades pode ser definida precisamente.

Os grupos funcionais das substâncias húmicas são responsáveis pela capacidade de troca catiônica (CTC) e por importantes processos físico-químicos do solo, como a complexação de metais. Esses processos influenciarão consideravelmente a fertilidade e a contaminação do solo, já que estão diretamente relacionados à superfície disponível para os nutrientes serem adsorvidos pelas partículas do solo e posteriormente para a solução do solo e em última instância para o sistema radicular da vegetação adjacente.

Carboidratos são, quantitativamente, o mais importante grupamento funcional de substâncias não húmicas (SNH), representando de 10% a 25% em massa do carbono orgânico nos solos. A maioria dos carboidratos no solo está presente na forma de polissacarídeos, que contêm, na maioria das vezes, dois ou três diferentes açúcares em cada polímero. Os polissacarídeos do solo têm sido estudados por causa de seu importante papel na estabilização de agregados de partículas de argila. Muitas vezes, essa agregação ocorre em razão de mucilagens polissacarídicas oriundas de raízes, bactérias e fungos, que formam soldagens efetivas em solos. Cheshire *et al.* (1979,1983) sugerem que em muitas situações os polissacarídeos são responsáveis por virtualmente toda a estabilidade agregadora em solos. A confirmação visual da associação de argilas com polissacarídeos pode ser obtida por microscópios eletrônicos de varredura e de transmissão.

2.5 – Ambivalência dos efeitos da vegetação na intensidade de processos erosivos

Como relatado, a utilização não criteriosa da vegetação como prática conservacionista pode apresentar efeitos deletérios para o solo, aumentando a intensidade dos processos erosivos.

Alguns efeitos negativos sobre a estabilidade de solos podem ser verificados, como: (i) em certas condições de recobrimento, a água da precipitação pode retomar o formato de gotas ainda maiores que as da precipitação, atingindo o solo com potencial erosivo; (ii) o crescimento de um dossel definido poderá sombrear estratos mais baixos ou por meio de processos de alelopatia (liberação de substâncias inibidoras do crescimento celular vegetal de espécies

invasoras por tecidos de espécies dominadoras), podendo causar a eliminação a vegetação herbácea original completamente, favorecendo o escoamento superficial; (iii) a vegetação pode aumentar a turbulência do escoamento superficial, favorecendo processos erosivos laminares (STOCKING, 1996); (iv) o aumento significativo da biomassa vegetal (especialmente em arbóreas) pode causar sobrecargas no talude; (v) ventos atuando na parte aérea da vegetação podem ocasionar transferência de forças para o sistema radicular, causando perturbações à camada superficial do solo; (vi) a penetração radicular em fissuras e junções de rochas favorecem a infiltração e intemperismo da rocha, podendo favorecer a instabilidade do talude (GREENWAY, 1987); (vii) escoamento ao longo da superfície de raízes de plantas senescentes.

Rickson e Morgan (1988) verificaram que as características de arranjo e distribuição da parte aérea da vegetação para uma mesma altura média podem causar variações de mais de 300% na perda de solos em uma mesma situação de solo e declividade. Finney (1984) verificou que gotas oriundas da atmosfera com diâmetros entre 2 e 3 milímetros atingindo o solo possuem menor capacidade de mobilizar partículas do solo que gotas de 5 milímetros formadas pelo acúmulo de gotículas na superfície de folhas a 1 milímetro de altura. Essa variação da erosividade pode atingir variações da ordem de 1 000% nas adjacências de árvores e arbustos. Superfícies recobertas por gramíneas produzem um padrão uniforme e atenuado de distribuição da chuva no solo, reduzindo-se a valores incipientes se comparados com os inicialmente presentes nas gotas (ARMSTRONG; MITCHELL, 1987).

Com relação a sobrecargas causadas pelo aumento significativo da biomassa vegetal entretanto, Gray e Meganah (1981) afirmam que, para um modelo de talude infinito, a sobrecarga pode ser benéfica à estabilidade, desde que a coesão do solo seja baixa, o ângulo interno de fricção do solo seja alto e os ângulos de inclinação do talude sejam pequenos.

3 – ESTABILIDADES DE TALUDES

A estabilização de taludes é um elemento da engenharia no qual a vegetação pode exercer importante papel. Os efeitos da vegetação em taludes, encostas e superfícies rochosas apresentam imensuráveis aplicações em situações de mineração, rodovias, ferrovias, barragens, proteção de margens de corpos d'água e costeira, e praticamente todas as situações de execução de cortes e aterros formam taludes ou superfícies de solo inclinadas.

Greenway (1987), Coppin e Richards (1990) sintetizam os principais efeitos da vegetação em movimentos de massa em taludes, de acordo com o quadro a seguir:

QUADRO 2

Efeitos hidromecânicos da vegetação na estabilidade de solos de taludes

Natureza do efeito	Influência	Mecanismo hidrogeológico			
			Superficial ¹	Subsuperficial ²	Profunda ³
Equilíbrio de forças da massa do solo	Reforçamento radicular	Raízes reforçam o solo, aumentando sua resistência ao cisalhamento	+	+	
	Atirantamento radicular	Raízes de árvores podem ancorar em estratos firmes, proporcionando suporte a estratos superiores de menor coesão		+	+
	Ancoramento radicular			+	+
	Sobrecarga	O peso de árvores sobrecarrega o talude, aumentando os componentes da força normal e descensional		-	
	Tombamentos	A vegetação exposta ao vento transmite forças dinâmicas para o talude		-	
	Recobrimento superficial	A folhagem e a biomassa decaída protegem o solo e fornecem substâncias agregantes	+	+	
	Retenção	Partículas minerais do solo são soldadas pelas raízes superficiais.	+		
Alterações do regime hídrico do solo	Interceptação	A parte aérea intercepta e evapora a precipitação, reduzindo a quantidade de água infiltrada	+	+	
	Infiltração	Raízes e ramos aumentam a rugosidade superficial e a permeabilidade do solo, aumentando a infiltração.	+ / -	+ / -	+ / -
	Evapotranspiração	A sucção radicular retira umidade, reduzindo a poropressão da água no solo. Em situações extremas, pode gerar trincamentos, gerando altos índices de infiltração	+ / -	+ / -	+ / -
Microclima solo-atmosfera	Proteção	Diminuição da força trativa de ventos	+		
	Isolamento térmico do solo	Proteção contra trincamentos por calor ou frio	+	+	

Obs.: 1. até 0,30 m de profundidade; 2. de 0,50 a 1,50 m de profundidade; 3. mais de 1,50 m de profundidade.

3.1 – Quantificação dos efeitos da vegetação na estabilidade de taludes

Diversos autores têm buscado quantificar os efeitos da vegetação na estabilidade de taludes há várias décadas; no entanto, a quantificação precisa dessa influência em condições de campo é de difícil obtenção. Trabalhos de bancada têm obtido dados de considerável precisão sobre o reforçamento radicular da matriz do solo, sendo disponíveis na literatura diversos modelos de fácil utilização (SHEWBRIDGE; SITAR, 1990; WU *et al.*, 1988). Com base nos valores obtidos por esses modelos, esses resultados podem ser utilizados em modelos numéricos de análise de estabilidade de taludes.

O modelamento matemático e a redução de riscos de processos erosivos podem ser utilizados para verificar qual fator componente do processo erosivo é mais ativo e em quais desses fatores a vegetação pode exercer efeito controlador. Com base nessa verificação, a estratégia de controle do processo erosivo pode ser delineada (COPPIN; RICHARDS, 1990), conforme se verifica no Quadro a seguir:

QUADRO 3

Mecanismos para quantificação dos efeitos físicos da vegetação na estabilidade de talude

Efeito	Característica físicas	Redução (%)
Reforçamento radicular	Índice de área radicular, distribuição e morfologia Forças de tensão radiculares	Pesagem da massa de raízes em determinada massa de solo, contagem da densidade radicular em intervalos verticais em parcelas amostrais no talude Testes de tensão no campo e em bancada
Atiramento radicular	Espaçamento, diâmetro e idade de árvores, espessura e inclinação do perfil do solo Propriedades geotécnicas do solo	Observações de campo Testes de tensão no campo e em bancada
Sobrecarga	Peso médio da vegetação	Estimativas de campo ou informações na literatura de relação peso/biomassa de árvores (Cannel, 1982)
Ventos	Regime de ventos para determinado tempo de recorrência, altura média de árvores dominantes para povoamentos de árvores	Norma técnica BS CP3:V:2:1972, ou predição pro danos ao vento (Miller, 1985)
Umidade do solo	Teor de umidade do solo, profundidade do lençol freático, poro pressão/sucção	Testes de campo e em bancada, piezômetros e tensiômetros
Interceptação	Precipitação líquida sobre o talude	Pluviógrafos, coleta de escoamento superficial, densidade de recobrimento foliar
Infiltração	Varições no teor de umidade do solo com a profundidade	Testes de tensão no campo e em bancada para determinação de permeabilidade do solo

4 – BIBLIOGRAFIA

- AUSTIN, D. N.; DRIVER, T. Classifying rolled erosion control products. *Erosion Control*, v. 2, n. 1, p. 48-53, 1995.
- AUSTIN, Theisen, M.; BIDDLE, P. G. Patterns of soil drying and moisture deficit in the vicinity of trees in clay soils. *Geotechnique*, v. 33, n. 2, p. 107-126, 1982.
- BIEDENHARN, D. S., ELLIOTT, C. H, W.; ATSON, C. C. *The weststream investigation and streambank stabilization handbook*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (WES) Vicksburg, Mississippi, 1997. 435 p.
- CASTILLO, V. M; MARTINEZ-MENA, M; ALBALADEJO, J. Runoff and soil loss response to vegetation removal in semiarid environment. *Soil Science Society American Journal*, n. 61, p. 1116-21, 1997.
- CHEN, Y. H.; COTTON, B. A Design of roadside channels with flexible linings. *Hydraulics Engineering Circular*, Federal Highway Adm. Publication h. FHWA-IP:87-7, USDOT/FHW A, McClean, VA, n. 15, 1988. p. 35-36.
- CHESIRE, M V. *Nature and origin of carbohydrates in soils*. London: Academic Press, 1979.
- CHESIRE, M. V.; SPARLING, G. P.; MUNDIE, C. M. Effect of periodate treatment of soil on carbohydrate constituents and soil aggregation. *Journal of Soil Science*, n. 34, p. 105-112, 1983.
- CHORLEY, T. The geomorphic significance of some Oxford soils. *American Journal of Soil Science*, n. 257, p. 503-515, 1959.
- COELHO, A. T.; BRITO GALVÃO, T. C. Controle de erosão em taludes de disposição de rejeitos siderúrgicos com tapete biodegradável. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, VI. Presidente Prudente, SP. *Anais...* em CD-ROM, 1998.
- COELHO, A T.; BRITO GALVÃO, T. C.; PEREIRA, A.R. Evaluation of two biodegradable rolled erosion control products (recp's) for stabilizing steep slopes under tropical conditions. In: ANNUAL INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION EXPO - INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION, 32nd. Las Vegas, *Proceedings...* Las Vegas: NA, 2001.
- COELHO, A T.; BRITO GALVÃO, T. C.; PEREIRA, AR The effects of vegetative cover in the erosion prevention of a road slope. *Environmental Management and Health*, v. 12, n. 1, 2001.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG); FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA (FUNDEP). *Controle de erosão em margens de reservatório, com ênfase nos métodos de bioengenharia de solos*. Belo Horizonte: CEMIG, 2002. 43 p.
- COPPIN, R.; RICHARDS, T. *Use of vegetation in civil engineering*. Sevenoaks, Kent: Butterworths. 1990. 305 p.
- CUR/CIRIA 1991. *Manual on use of rock in coastal engineering*. Netherlands: Gouda, CUR/CIRIA report n. 154, 1991.

- CUR/TAW *design material for pitched slope protection*. CUR report n. 155, Rotterdam: A.A. Balkema (Publ.), 1995.
- DE FELLIPO, B. V.; RIBEIRO, AC. Análise química do solo (metodologia). *Boletim de. Extensão*, 2 ed., Universidade Federal de Viçosa, MG, n. 29, 1991. 6 p.
- DORAN, D. N; PARKIN, T. B. Defining and assesssing soil quality. In: DEFINING soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication, Madison. WI. EUA, n. 35, 1994.
- EL WELL, H. A.; GARDNER, S. *Comparasion of two techniques for measuring percent canopy cover of row crops in erosion research programmes*, 19. , Harare, Zimbabwe: Department of Conservation and Extension, 1975.
- EMERSON, W. W. A classification of soil aggregation based on their coherence in water. *Australian Journal of Soil Research*, n. 2, p. 211-17, 1961.
- FERGUSON, B.K. *Stormwater infiltration*. Boca Raton/FL. EUA: CRC Press, 1994. 269 p.
- FISCHENICH, J. C.; ALLEN, H. *Stream management water operations techrzical support program*, Environmental Laboratory U. S. Army Engineer Research and Development Center 3909, Ha11s Ferry Road Vicksburg, MS 39180'-6199, 2000, 295 p.
- FOSTER, G. R; MEYER, L. D. A closed form soil erosion equation for upland areas. In: W. SHOWN, H. *Sedimentation*, Dept. Civil Eng., Colorado State,Univ., Fort Collins CO, 12-1-12.19, 1972.
- FOSTER, G. R.; LANE, L. J. User requeriments: USDA Water erosion Prediction Project (WEPP). *NSERL Report*, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, W. Lafayette, IN, n. 1, 1987, 43 p.
- GORE, A. Lessons from the farm. *Erosion Control*, v. 6, n. 2, p. 10, 1999.
- GRAY, D. H.; SOTIR, R. B. *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a pratical guide for erosion control*. New York: John Wiley & Sons. 1996. 377 p.
- GRAY D. H.; SOTIR, R. B. Biotechnical stabilization of highway cut slope. *Journal of Geotechnical Engineering*, v. 118, p. 567-574, Oct. 1990.
- GREENWAY, D. R Vegetation and slope, stability. In: ANDERSON, M. G.; RICHARDS, K.S. (Ed.). *Slope stabíity*. John Wiley & Sons 1987, Chiochester, p.187-230.
- HAGERTY, D. I. Piping/sapping erosion, I: Basic considerations. *HY*, August, p. 991- 1.008, 1991a.
- HAGERTY, D. J. Piping/sapping erosion, II: Identification-diagnosis. *HY*, August, p. 1009-1025, 1991b. .
- HENGCHAOVANICH, D. Vetiver grass for slope stabilization and erosion control. *Tech Bull*. Pacific Rim Vetiver Network. Bangkok, Thailand, n. 2, 1998, 28 p.
- HEWLETT, H. W., BOORMAN,-L.G. BRAMBLEYCAL, MEISRAELSON, E. Erosion control during highway construction-Manual on principIes and practices. *Transportation Research Program Report NAS-NRC*, Transportation Research Board, Washington, DC. n. 221, 1980.

JENNINGS, G. D.; JARRET, A. R.; HOOVER, J. R.; Evaluating the effect of puddling infiltration using the Green-Ampt equation. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, v. 31, 3, p. 761-68, 1988.

KLINGEMAN, P. C.; BRADLEY, J. B.. Willamette river basin streambank stabilization by natural means. Portland District, Portland, OR: U.S. Army Corps of Engineers, 1976.

LAL, R. Mulching effects on runoff: soil erosion and crop response in alfisols in western Nigeria. *Journal of Sustainable Agriculture*, v. 11, n. 2/3, p. 135-154, 1998.

LAL, R; STEWART, B. A. Soil degradation. Need for action: research and development priorities. *Adv: Soil Sci.*, n. 11, p. 331-336, 1990.

LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. *Soil erosion research methods*. 2. ed. London: Academic Press. 1994. 345 p.

LANE, L. J.; SHIRLEY, E. D.; SINGH, V. P. Modelling erosion on hillslopes. In: ANDERSON, M. G. (Ed.). *Modelling geomorphologica1 svstems*. New York: Jonh Wiley & Sons, 1988. p. 287-308.

LAVELLE, P. CATTOUD, C.; TRIGO, D.; BAROIS, I. Mutualism and biodiversity in soils. *Plant and Soil*, n. 170, p. 210-21, 1995.

LIEBENOW, A. M.; ELLIOT, W. J.; LAFLEN, J. M.; KOHL, K-D. Interill erodibility: collection and analisis of data from croplands. *Transactions of American Society, of Agricultural Engineerings*, n. 3, p. 11.882-11.888, 1990.

LIU, B. Y. NEARING, M. A. RISSE, L. M Slope gradient effects on soil loss for steep slopes. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, v. 121, n. 10, p. 729-734, 1995.

MANDAL, J. N.; Promotion and use of jute geotextile in civil engineering. *Indian Textile Journal*, v. 104, n. 9, p. 18-26, 1994.

MCCULLAH, J. *Erosion draw*. Salix Applied Earthcare. CA, EUA: Redding, 1994.123 p.

MEYER, L. D.; WARMON, W. C. Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion from seventeen California soils. *Soil Science Society American Journal*. n. 48, p. 1.152-1.1557, 1984.

MORGAN, J. *Soil erosion and conservation*. UK: Silsoe, 1994. v. 2. 198 p.

NATIONAL Engineering Handbook (NRCS) – Part 650. United States Department of Agriculture, Washington, DC, 2001.

NATURAL RIVERS AUTORITY. NRA. *A guide to bank restoration and river narrowing*. NRA. Bristol, England: Southern Region,1992.

NEARING, M. A.; PARKER, S. C. Detachment of soil by flowing water under turbulent and laminar conditions. *Soil Science Society American Journal*, v. 58, n. 6, p. 1.609-1.614, 1994.

NEARING, M. A. Compressive strength for an aggregated and partially saturated soil. *Soil Science Society American Journal*, n. 50, p. 35-38, 1995.

NEARING, M. A.; BRADFORD, J. M. HOLTZ, R. D. Measurement of waterdrop impact pressures on soil surfaces. *Soil Science Society American Journal*, n. 31, p. 1.301-1.3066, 1987.

- NEARING, M. A.; BRADFORD, J. M. Single waterdrop splash detachment and mechanical properties of soils. *Soil Science Society American Journal*, n. 49, p. 547-552, 1985.
- NEARING, M. A.; NICKS, A. D. Evaluation of the water erosion prediction project (WEPP) model for hillslopes. NATO/ASI Series (155). In: BOARDMAN, Jonh; FAVIS, Davis. *Modelling soil erosion by water*. Berlin: Sprilger. 1998.
- NEARING, M. A; FOSTER, G. R; LANE, L. J.; FINNKER, S. C. A process-based soil erosion model for the USDA-Water erosion prediction project technology. *Transactions of ASAE*, n. 32, p. 1.587-1.593. 1992.
- NEARING, M. A.; L.P.-N. E, L. J.; LOPES, V. L. Modelling erosion. In: LAL, R. *Erosion control-research methods*, 1994.
- OADES, J. M. An introduction to organic matter in mineral soils. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. *Minerals in soil: environments*. Madison. WI, 1989. v. 2.
- PAIVA, H. N.; GOMES, J. M.; *Viveiros florestais*. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 1993. 25 p.
- PARSONS. D. A. Vegetative control of streambank erosion. In: FED. INTERAGENCY SEDIMENTATION CONFERENCE. 1963. Washington DC: Agricultural Research Service. USDA Misc. Publis. 970. p. 130-136. 1963.
- PILARCZYK, K. W. (Ed.) *Dikes and revetments*. Rotterdam: A. A. Balkema, 1998.
- PILARCZYK, K. W.; *Geosyntetics and geosystems in hidraulic and coastal engineering*. Rotterdam: A. A. Balkema, 2000.
- PILARCZYK, K. W.; BRETEIER, M. K.; STOUTJESDIJK, T. Design criteria for alternative reyetments 321-334. In: INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION, 32nd, 2001, Nevada. *Proeedings...* Nevada: CO, 2001.
- PIMENTAL, D. J.; ALIEN, A.; BEERS, L.; GUIRAND, R; LINDER, P.; MCLAUGHLIN,P.; Meer, B.; MUSSOUNDS, D.; PERDUE, D.; HAWKINS, A. World agriculture and soil erosion: Erosion threatens world food production. *BioScience*, v. 37, n. 4, p. 277-283, 1987.
- PORTER, H. L.; RENARD, K. G.; FOSTER, G. R; WEEISES, G. A.; PORTER, R. Rusle: revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 46, n. 1, p. 30-33, 1991.
- SCHIELCHTL, H. M; STERN, R. *Water bioengineering techniques: for watercourse bank and shoreline protection*. U.K.: BIackwell Science,1997.
- SCHOR, H.; GRAY, D. H. Hills Iike nature makes then. *Urban Land*, p. 40-43, Mar., 1992.
- SCHOR, H.; GRAY, D. H. Landform grading and slope evolution. *Journal of Geotechnical Engineering (ASCE)* 121 (6T10), p. 729-34, 1995.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. *Handbook of channel design for soil and water conservation* SCS-TP-61, 1954. 34 p.
- SOTIR, R. B.; GRAY, D. H: Fill slope repair using soil bioengineering systems. In: INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION. *Methods and techniques for stabilizing steep slopes*. Stremboat Springs. CO: International Erosion Control Association. 1997. p. 413-425.

STEVENSON, F. J.; *Humus chemistry, genesis composition reactions*. New York: John Wiley & Sons, 1982.

STOCKING, M. A. Assessing: vegetative cover and management effects. In: LAL, R. *Soil erosion research methods*. 1996.

SUEWBRIDGE, S. E.; SITAR, N. Deformation characteristics of reinforced sand in direct shear. *Journal of Geotechnical Engineering (ASCE)* 116 (GT7), p. 1.153-1.157, 1990.

TEMPLE, D. M.; HANSEN, G.; JTEMPLE, D. M.; ROBINSON, K. M.; AHRING, R. M.; DAVIS, A.; GU. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. *Engineering Manual 1110-21601 CPD-13/1994*.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Office of water (4503F) EPA-841-F-95-008d*, Dic. 1995.

WELTZ, M. A.; RENARD, K. G.; SIMONTON, J. R. Revised: Universal soil loss equation for western rangelands. In: U.S./MEXICO SYMPOSIUM ON STRATEGIES FOR CLASSIFICATION AND MANAGEMENT OF NATIVE VEGETATION FOR FOOD PRODUCTION IN ARID ZONES. U.S. Forest Service General Technical Report RM-150:104-11.1987.

WESTERN CANADIAN HYDRAULICS LABORATORIES, 1979 COVE COUNTRY CLUB. *Experimental studies on permissible shear stresses of Bermuda grass*. Port Coquillam, BC Canada (WCHL,1970).

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. USDA Agricultural Handbook Washington, OC. n. 537, 1978.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A.; Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Water Conservation*, v. 26, n. 5, p. 189-193, 1971.

WU, T. H.; MACOMBER, R. T.; ERB, R. T.; BEAL, P. E. Study of soil-root interactions. *Journal of Geotechnical Engineering (ASCE)* 114 (GT12), p. 1.351-1375, 1988.

