

# APLICAÇÃO DE GEOTÊXTEIS BIODEGRADÁVEIS NA REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E CONTROLE DA EROSÃO SUPERFICIAL, UBERLÂNDIA/MG

**José Fernando Rodrigues Bezerra**

*Doutorando em Geografia/UFRJ - LAGESOLOS, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Ilha do Fundão, Cidade Universitária, Rio de Janeiro/RJ. - CEP 21.940-590 - e-mail: fernangeo@yahoo.com.br*

**Antônio José Teixeira Guerra**

*DEGEO, LAGESOLOS/UFRJ - LAGESOLOS, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Ilha do Fundão, Cidade Universitária, Rio de Janeiro/RJ. - CEP 21.940-590 - e-mail: antoniotguerra@gmail.com*

**Silvio Carlos Rodrigues**

*DEGEO, LAGES/UFU - Universidade Federal de Uberlândia, Avenida João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia/MG - CEP 38.400-902 - e-mail: silgel@ufu.br*

---

## Resumo

Esse artigo aborda a utilização dos geotêxteis biodegradáveis no controle do escoamento superficial e perda de sedimentos. Para alcançar esse objetivo, uma estação experimental foi construída na Fazenda do Glória, no município de Uberlândia, Minas Gerais, a qual ficou funcionando no período de 18/11/2005 a 30/03/2006. Duas parcelas foram construídas, com as seguintes características: medidas de 1m x 10m, com uma calha, na parte inferior de cada parcela, para coletar água do escoamento superficial e sedimentos transportados. Uma das parcelas ficou sem cobertura vegetal durante todo o monitoramento e a outra recebeu a proteção dos geotêxteis (Buriti) e sementes de gramínea. Durante os cinco meses de monitoramento, houve um total de 1.087,22mm de chuva. Na parcela sem cobertura vegetal, o total de escoamento superficial foi de 297,16L m<sup>-2</sup>, enquanto na parcela com os geotêxteis com gramíneas foi de 123,92L m<sup>-2</sup>, ou seja, mais da metade do total de escoamento da parcela sem proteção. Em termos da produção de sedimentos, a diferença foi ainda mais significativa; na parcela sem proteção dos geotêxteis, o total de solo erodido foi de 19.778,13g m<sup>-2</sup>, enquanto na outra parcela, o total foi de apenas 1.317,92g m<sup>-2</sup>. Esses resultados mostram que os geotêxteis construídos com fibra de Buriti podem ser bem eficientes no controle da erosão.

**Palavras-chave:** Geotêxteis, escoamento superficial; controle de erosão.

## Abstract

This paper regards the use of biodegradable geotextiles in controlling runoff and soil erosion. To achieve this target an experimental station was set up in Gloria Farm, Uberlandia Municipality, Minas Gerais State, between 18/11/2005 and 30/03/2006. Two plots were assembled, with the following characteristics: 1 m width and 10 m length plots, with a trough on the bottom of each plot, to collect wash load and sediment yield, after each rain storm. One of the plots was bare and the other had a cover made by Buriti geotextiles and grass. During the five months monitoring period, there has been a total of 1.087,22 mm of rain. On the bare plot the total runoff was 297,16 L m<sup>-2</sup>, whereas on the plot covered by the geotextiles the total runoff was 123,92 L m<sup>-2</sup>, that is, more than half of the runoff on the bare plot. In terms of sediment yield, the difference was even higher; on the bare plot the total sediment yield was 19.778,13 g 10 m<sup>-2</sup>, whereas on the protected plot, the total sediment yield was only 1.317,92 g 10 m<sup>-2</sup>. These results show how efficient Buriti geotextiles can be to protect soil against erosion.

**Keywords:** Geotextiles; runoff; erosion control.

## Introdução

A erosão é um dos principais processos de modificação da paisagem, podendo ser intensificada pela ação antrópica. Essa interferência pode ser percebida de forma direta em áreas urbanas e rurais. Nos centros urbanos, onde a transformação da paisagem apresenta-se de forma desordenada, sem que haja um planejamento adequado, os problemas ambientais são iminentes, como erosão, movimentos de massa, assoreamento e contaminação da água, entre outros, que afetam a qualidade de vida da população (Oliveira, 1999; Silva *et al.*, 1999; Salomão, 1999; Sudo, 2000; Fullen & Guerra, 2002).

A principal estratégia da conservação do solo é obter o máximo nível de produtividade das terras, mantendo a perda de solo em nível baixo. Outro aspecto importante é a necessidade de diminuir a erosão para o controle da perda de nutrientes das terras cultiváveis, da prevenção da poluição dos corpos d'água e da diminuição das taxas de sedimentação em reservatórios, rios, canais e lagos. Assim, a erosão deve ser controlada para prevenir a degradação das terras que acarreta o seu abandono e torna difícil a sua reabilitação, implicando em severas limitações para o uso futuro (Fullen & Catt, 2004; Araújo *et al.*, 2005; Gangolells *et al.*, 2009; Goethals *et al.*, 2009).

O conhecimento geomorfológico associado à engenharia, pedologia, bioengenharia e outras ciências afins, vem contribuindo no controle e na reabilitação de processos erosivos. Esse conhecimento é obtido, na maioria das vezes, a partir do estudo acadêmico básico, através de estudos e monitoramentos sistemáticos, principalmente com as estações experimentais que vêm se destacando nas últimas décadas sobre o entendimento do início e desenvolvimento de processos erosivos (Poesen *et al.*, 1999; Baccaro, 2001; Morgan, 2001; Kirkby *et al.*, 2003; Casseti, 2006;) e recentemente no estudo sobre controle e recuperação desses processos com diferentes técnicas, como, por exemplo, a Bioengenharia de Solos (Araújo, *et al.*, 2005; Deflor, 2005; Stokes *et al.* 2010; Li *et al.* 2006).

A bioengenharia é uma associação de técnicas de engenharia e biologia, baseando-se na utilização de materiais flexíveis (geotêxtil) e rígidos (ferro, concreto, etc.). O geotêxtil é uma manta antierosiva colocada sobre o solo e confeccionada a partir de diversos materiais, como, por exemplo, os sintéticos, podendo ser produzidas também com folhas de palmáceas que tem como características a biodegradabilidade. Os geotêxteis vêm contribuindo como uma técnica de conservação do solo desde 1950, utilizados principalmente nos projetos de engenharia civil. Recentemente, outros profissionais vêm utilizando

essa técnica, com diversos tipos de materiais, como as fibras da palmeira do buriti (Smets *et al.*, 2008; Guerra *et al.*, 2009; Smets & Poesen, 2009; Bhattacharyya *et al.*, 2009, 2010).

Esta pesquisa constitui parte dos resultados da dissertação de mestrado defendida em dezembro de 2006 no Instituto de Geociência da Universidade Federal de Uberlândia/MG (Bezerra, 2006). O objetivo deste artigo é analisar a dinâmica do escoamento superficial nas parcelas, com solo exposto e com geotêxteis e gramíneas, da estação experimental, para a avaliação da sua eficiência na diminuição do fluxo superficial e no transporte de sedimentos.

## Área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Uberlândia/MG, mais precisamente na Fazenda Experimental da Glória, localizada entre as seguintes coordenadas: 18°57'30"S e 48°12'0"W (Figura 1). A área está situada no Domínio dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, caracterizando-se por apresentar relevo tabular, levemente ondulado, com altitude inferior a 940m. Os solos são ácidos e pouco férteis, tipo Latossolo Vermelho, com textura argilo-arenosa. Na área de estudo, a formação geológica predominante é a Formação Marília, de Idade Cretácea, caracterizando-se por ser um pacote superior do Grupo Bauru, constituída por espessas camadas de arenitos imaturos e conglomerados com cimentação carbonática (Carrizo & Baccaro, 2000).

O clima da região do Triângulo Mineiro, na qual a área de estudo está inserida, é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, ou seja, possui um inverno seco e um verão chuvoso, dominado predominantemente pelos sistemas intertropicais e polares. O município é influenciado pela Frente Polar Antártica (FPA) e pela Massa Polar (MP); As Massas de Ar Tropical (MT); Massas de Ar Equatorial (ME); e os sistemas atmosféricos como as ondas de leste e instabilidade tropical (que chegam de oeste). A região do Triângulo Mineiro também está sob a influência das Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que são responsáveis pelas chuvas intensas e prolongadas (Silva & Assunção, 2004).

O Córrego do Glória, que drena a área de estudo, apresenta pequenas corredeiras, sendo afluente da Bacia do Uberabinha, que é de grande importância para a cidade de Uberlândia. Ao longo do seu curso, verifica-se o domínio da cobertura vegetal de cerrado. Os principais tipos fisionômicos do domínio do cerrado são: vereda, campo limpo, campo sujo ou cerradinho, cerradão, mata de várzea, mata galeria ou ciliar e mata mesofítica (Carrizo & Baccaro, 2000).

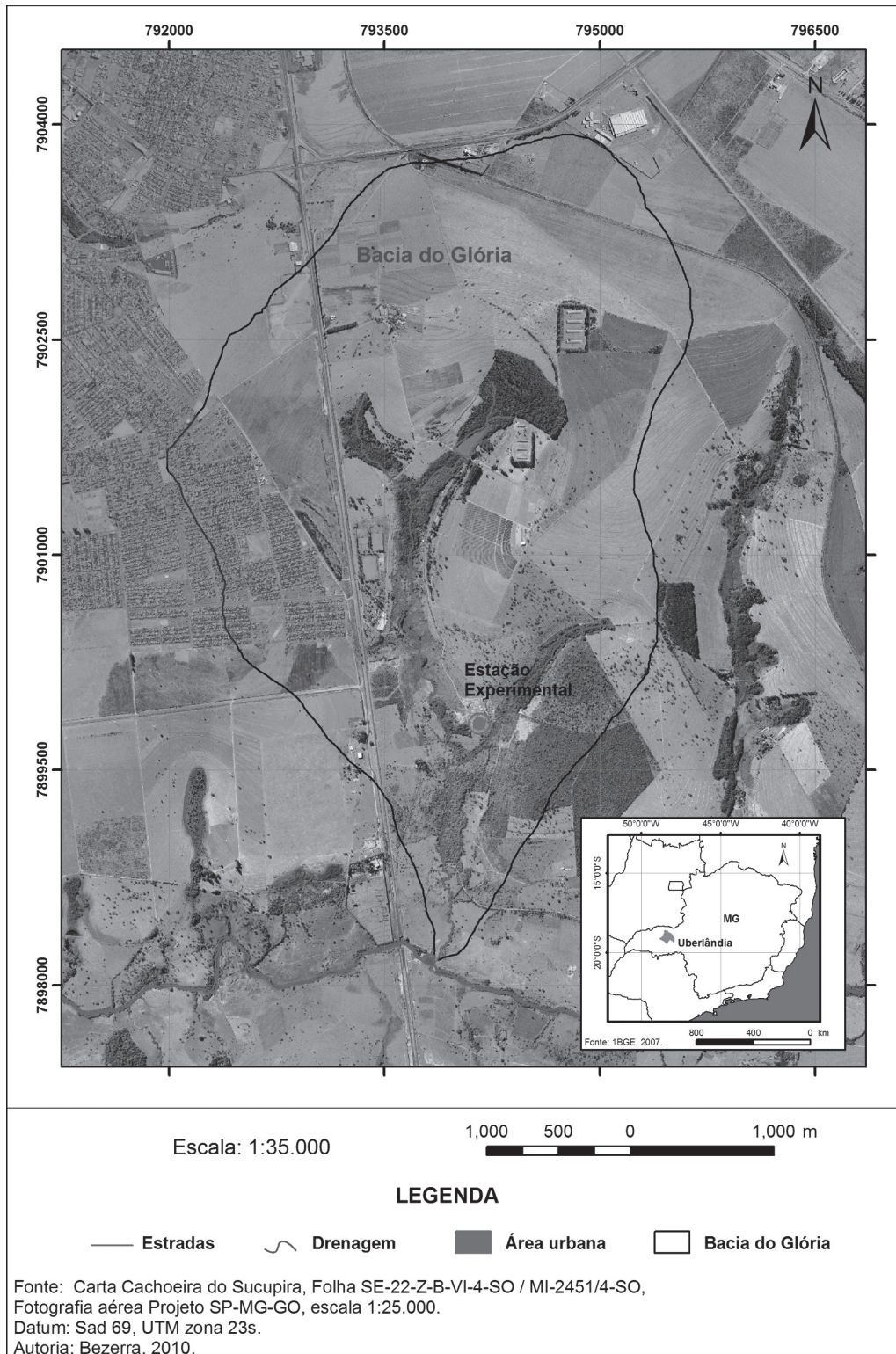


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo



## Materiais e métodos

### Estação experimental

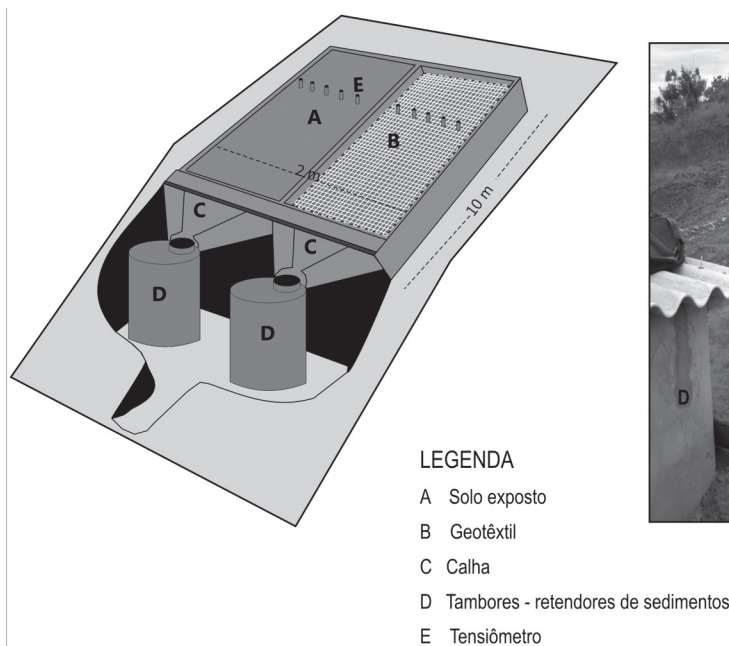
O delineamento experimental desta pesquisa baseou-se nos estudos de Guerra (1990), Baccaro *et al* (1999), Poesen (1999), Morgan (2001), Kirkby *et al.*, (2003), Lekha (2003). A estação experimental foi construída na Fazenda do Glória, possuindo duas parcelas com 10m<sup>2</sup> cada, uma com solo exposto (SE) e outra com geotêxteis e gramíneas (GE), com 12° de declividade (Figura 2). A área da estação apresenta regolito homogêneo e compactado, com predomínio de areia fina. Na parte inferior das parcelas foram colocados dois galões com 100L de capacidade. Neste trabalho, foram utilizados 40 geotêxteis (50cm<sup>2</sup> cada um), confeccionados artesanalmente a partir da fibra do buriti (Figura 3).

Coletou-se uma amostra superficial do regolito para análise do índice de fertilidade, realizada no Laboratório de Análises de Solos do Instituto de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Uberlândia, sendo detectada a necessidade de correção. Foram utilizados 5kg de NPK (fertilizante mineral) e 20kg de calcário para a correção do pH (GE). Foi utilizado 1kg de sementes de capim-braquiara (*Brachiaria brizantha*) na parcela com geotêxteis. A coleta dos dados da estação teve início no dia 18 de

novembro de 2005 e foi finalizada no dia 30 de março de 2006, durante o período chuvoso da região, sempre com registro fotográficos dos parâmetros analisados.

Os dados de pluviosidade apresentados na pesquisa foram obtidos com duas diferentes técnicas. A primeira com um pluviômetro de alumínio construído manualmente, localizado no experimento com cafezal, que constitui uma pesquisa com parceria entre a EMBRAPA e o Instituto de Ciências Agrárias da UFU, sob a responsabilidade de monitoramento desta última. A coleta dos dados foi realizada diariamente, sempre às 7h, distanciando-se 1km do experimento com os geotêxteis. Esses dados foram utilizados entre os dias 18 de novembro e 30 de dezembro de 2005.

A segunda técnica de coleta dos dados de pluviosidade está relacionada a um pluviógrafo eletrônico equipado com datalogger, marca EIJKELKAMP. O referido aparelho foi configurado para o registro dos dados a cada 5min, garantindo boa precisão para a análise dos dados correlatos, como escoamento superficial, transporte de sedimento e umidade no solo. O datalogger foi levado ao gabinete mensalmente e seus dados copiados com o auxílio do seu respectivo software. As informações geradas nos pluviômetros foram utilizadas entre os dias 01 de janeiro e 30 de março de 2006, sendo que o aparelho distancia-se 2km da estação experimental em análise.



Autoria: Bezerra, 2010.

Figura 2 - Estação experimental com solo exposto (SE) e solo com geotêxteis (SG).

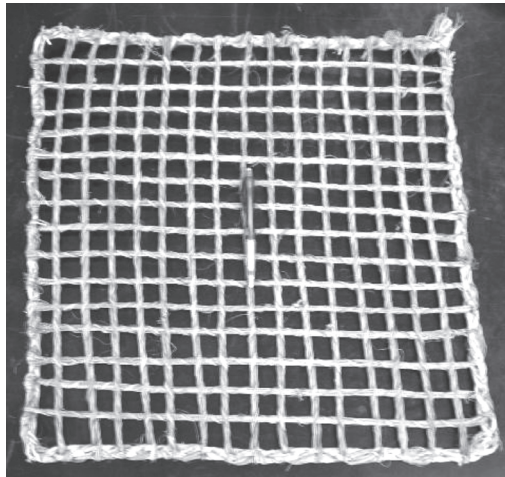


Figura 3 - Geotêxtil confeccionado com fibra de buriti.

### Escoamento superficial

O volume (L) do escoamento superficial foi mensurado logo após cada evento chuvoso ocorrido durante o monitoramento. Os dados de escoamento foram obtidos com sucessivas medições da capacidade dos galões de 100L, com o auxílio de um balde de 10L e um becker de 1L. Deste total foram coletados 2L a partir da homogeneização da solução nos galões, com auxílio de um bastão de 1,5m. Este procedimento teve o objetivo de coletar amostras dos sedimentos transportados pelo escoamento para pesagem e análise granulométrica. O volume do escoamento foi convertido de L para L m<sup>-2</sup>. A partir dos dados de volume de cada parcela foram calculados o coeficiente de escoamento superficial (CES) e eficiência dos geotêxteis na redução do escoamento superficial (EGRES), baseado nos estudos de Sutherland (1998a, 1998b).

$$CES = 100x \frac{\text{Volume do escoamento superficial (mm)}}{\text{Volume de precipitação (mm)}}$$

$$EGRES = 100x \frac{[\text{CES solo exposto (\%)} - \text{CES geotêxteis e vegetação (\%)}]}{\text{CES solo exposto (\%)}}$$

### Erosão superficial

Para a determinação do peso dos sedimentos transportados nas parcelas com solo exposto e solo com geotêxteis, utilizou-se o método da filtragem, o qual foi realizado nos 2L da solução homogeneizada a partir dos galões de coleta de escoamento superficial conforme descrito anteriormente. Além do peso dos sedimentos coletados, também foi realizada análise granulométrica (peneiramento e método da pipetagem) do seu conteúdo.

Os sedimentos depositados nas calhas das parcelas também foram pesados e somados aos sedimentos dos galões. A taxa de produção de sedimento foi convertida de g para g m<sup>-2</sup>.

A análise granulométrica foi baseada na metodologia da EMBRAPA (1979). Os resultados dessas análises estão apresentados no diagrama triangular que descreve as classes texturais dos sedimentos transportados, proposto pela USDA (*United States Department of Agriculture*). Com base na proposta de Sutherland (1998a, 1998b), foi calculada a eficiência dos geotêxteis na redução da produção de sedimentos (EGRPS).

$$EGRPS = 100x \frac{[\text{Produção de sedimentos solo exposto (g)} - \text{Produção de sedimentos solo}]}{\text{Produção de sedimentos solo}}$$

### Análises estatísticas

Utilizou-se o software estatístico R Project, versão 2.12.0 para o cálculo da estatística descritiva e inferencial. Para a verificação sobre a distribuição normal dos dados, foi adotado o teste de normalidade de Anderson-Darling. Como as variáveis, escoamento superficial e perda de sedimentos, não seguem uma distribuição normal em nível de 5% de significância ( $p < 0,05$ ), foi necessária a transformação logarítmica, com o intuito de realizar as análises de regressão. Empregou-se o teste não-paramétrico de Mann-Whitney para os dados de escoamento e erosão e o teste paramétrico teste t para a granulometria.

### Resultados

#### Variação temporal

A análise descritiva dos dados demonstrou uma diferença entre as parcelas com geotêxteis (GE) e solo exposto (SE) (Tabela 1) no que se refere ao total de escoamento superficial e produção de sedimentos. Durante o monitoramento foram registrados 1.087,22mm de chuvas, gerando um escoamento superficial de 297,16L m<sup>-2</sup> na parcela com solo exposto, enquanto no sistema com geotêxteis e gramíneas, o fluxo superficial chegou a 128,81L m<sup>-2</sup>. No tocante à redução dos processos erosivos, os resultados apontaram para uma diferença entre as parcelas, no controle da produção dos sedimentos com os geotêxteis e as gramíneas atingindo 1.317,92g m<sup>-2</sup>, enquanto o solo exposto chegou a 19.778,13g m<sup>-2</sup>.

Tabela 1 - Resumo da estatística descritiva na estação experimental.

Parcelas	Escoamento superficial						CES (%)	EGRES (%)	n
	Total (L m <sup>-2</sup> )	Média (L m <sup>-2</sup> )	Máximo (L m <sup>-2</sup> )	Mínimo (L m <sup>-2</sup> )	DV (L m <sup>-2</sup> )	S <sup>2</sup> (L m <sup>-2</sup> )			
SE*	297,16	9,59	25,94	0,05	8,04	64,70	28,07	-	31
GE*	128,81	4,16	11,00	0	4,45	19,82	12,17	56,65	31

Parcelas	Perda de sedimentos					EGRPS (%)	N	
	Total (g m <sup>-2</sup> )	Média (g m <sup>-2</sup> )	Máximo (g m <sup>-2</sup> )	Mínimo (g m <sup>-2</sup> )	DV (g m <sup>-2</sup> )			S <sup>2</sup> (L m <sup>-2</sup> )
SE*	19.778,13	638,00	4.055,17	0,03	901,61	812.892,55	-	31
GE*	1.317,92	42,51	393,77	0	92,83	8.616,76	93,34	31

\* Os dados não estão normalmente distribuídos no teste de normalidade de Anderson-Darling ( $p < 0,05$ ), SE – solo exposto, GE – geotêxteis e gramíneas. DV = Desvio padrão, S<sup>2</sup> = Variância, n = número de observações.

Os dados se tornam mais expressivos quando apresentados no decorrer dos cinco meses de trabalho, possibilitando o conhecimento do funcionamento dos geotêxteis sobre a dinâmica hídrica superficial, responsável pelo transporte dos sedimentos (Quadro 1; Figuras 4 e 5). Em se tratando da mobilização das partículas superficiais, o mês de novembro tem uma característica peculiar, por ser o início da estação chuvosa da região, após cinco meses de estiagem.

Este fator climático influenciou diretamente a produção de sedimentos no experimento, devido à maior evaporação na superfície (diminuição da coesão aparente) associada à instabilidade dos agregados, implicando em menor coesão das partículas e maior predisposição na remoção das camadas

superiores do solo. Isto foi observado na parcela com ausência de cobertura vegetal logo nas primeiras chuvas.

**Quadro 1 – Variação do escoamento superficial e perda de sedimentos nas parcelas com solo exposto (SE) e solo com geotêxteis e gramíneas (SG).**

Meses	Precipitação (mm)	Escoamento SE (L m <sup>-2</sup> )	Escoamento GE (L m <sup>-2</sup> )	Sedimento SE (g m <sup>-2</sup> )	Sedimento GE (g m <sup>-2</sup> )
Novembro	143,23	16,57	9,11	1.116,24	225,12
Dezembro	279,89	75,22	37,98	6.497,19	550,31
Janeiro	148,8	55,33	22,78	1.906,67	121,32
Fevereiro	208,2	70,45	33,10	5.022,99	412,75
Março	306,6	79,59	20,95	5.235,04	8,43
Totais	1.086,72	297,16	123,92	19.778,13	1.317,92

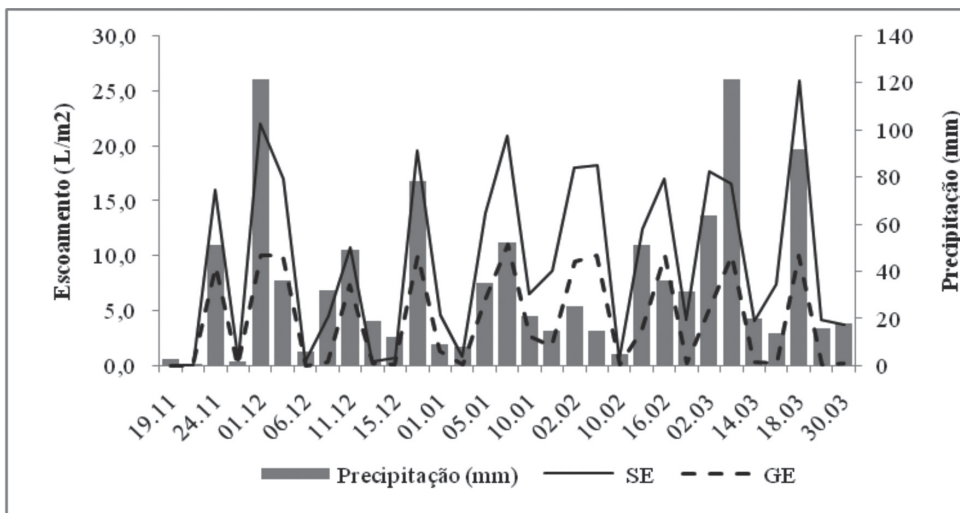


Figura 4 - Variação temporal do escoamento superficial nas parcelas com solo exposto (SE) e geotêxteis (SG).

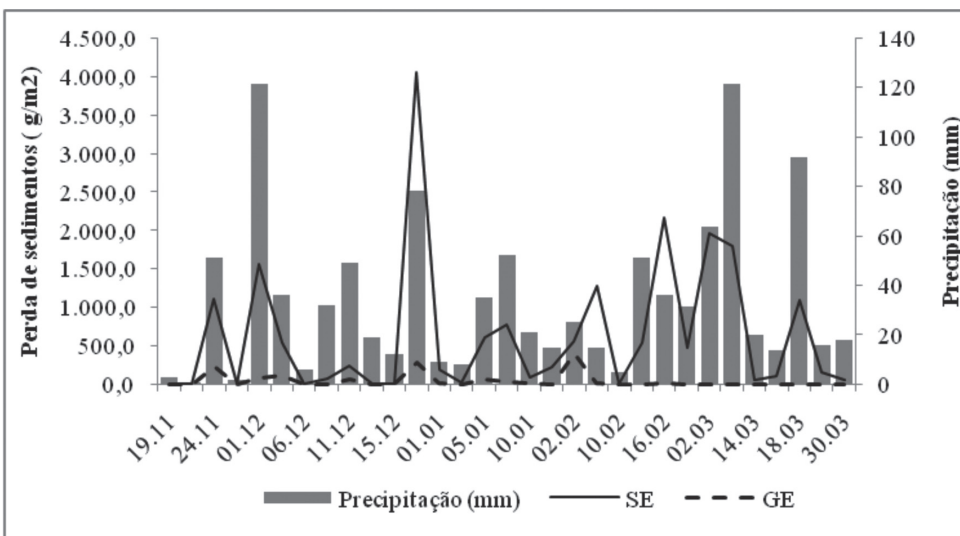


Figura 5 - Variação temporal da perda de sedimentos nas parcelas com solo exposto (SE) e geotêxteis (SG).

No mês de novembro, notou-se a eficiência dos geotêxteis como obstáculo na geração do escoamento superficial ( $9,11\text{L m}^{-2}$ ) e na redução de perda de solo ( $225,12\text{g m}^{-2}$ ), em relação à parcela com solo exposto, que apresentou um fluxo de  $16,57\text{L m}^{-2}$  e perda de erosão de  $11.162,37\text{g m}^{-2}$ , valores bem superiores que a outra parcela. Neste mês (novembro), foram registrados os menores valores de escoamento superficial e erosão (exceto na parcela com geotêxteis) quando comparado aos outros meses (Quadro 1).

O mês de dezembro obteve o segundo maior índice pluviométrico de todo o período estudado, atingindo  $279,89\text{mm}$ . Na primeira metade do mês, as chuvas atingiram os geotêxteis diretamente, pois a vegetação ainda não estava desenvolvida, reforçando sua função protetora do solo (Quadro 1). Nesse mês, o escoamento superficial na parcela com os geotêxteis chegou a  $37,98\text{L m}^{-2}$ , enquanto no solo exposto o fluxo registrado foi quase o dobro ( $75,22\text{L m}^{-2}$ ) (Silva, 2006; Pinese Jr., 2008).

O geotêxtil além de absorver a umidade, devido às suas propriedades inerentes ao tecido vegetal (buriti), também formou uma barreira contra a energia cinética das chuvas, dificultando a movimentação das partículas soltas, que causam a selagem dos poros. Essas características favoreceram os processos de infiltração, diminuindo o fluxo superficial e, conseqüentemente, a remoção dos sedimentos nesta parcela, a qual foi de  $5.50,3\text{g m}^{-2}$ . Todavia, o maior fluxo superficial de todo o monitoramento na parcela foi registrado nesse mês (dezembro), devido à ausência da cobertura vegetal (Bhattacharyya *et al.*, 2009, 2010).

Por outro lado, a parcela com solo exposto sofreu o impacto direto das gotas de chuvas, o que favoreceu a formação de crostas superficiais que diminuíram a infiltração, aumentaram o escoamento superficial e a perda por erosão, sendo registrado o maior valor desse parâmetro nessa parcela durante todo o monitoramento ( $6.497,19\text{g m}^{-2}$ ).

Baccaro *et al* (1999), trabalhando em experimento com condições semelhantes em Iraí de Minas/MG, relata que nessas condições (sem cobertura vegetal), o solo exposto é muito mais susceptível a perda de solo e satura-se com facilidade, obtendo valor de escoamento superficial total de  $633,7\text{L}$  no ano de 1998, sendo que os meses com maior ocorrência de escoamento foram primeiro novembro e depois dezembro. A mesma autora enfatiza que as maiores perdas de solos nos seus experimentos ocorreram em março ( $5.356,1\text{g m}^{-2}$ ) e em janeiro ( $4.730,1\text{g m}^{-2}$ ).

O mês de janeiro na pesquisa apresentou baixa precipitação total ( $148,8\text{mm}$ ), com duas semanas de estiagem (veranico), o que foi determinante na oscilação dos dados nesse mês. O escoamento superficial no sistema com solo exposto chegou a  $55,33\text{L m}^{-2}$ , o dobro do escoamento mensurado na parcela com os geotêxteis ( $22,78\text{L m}^{-2}$ ). Em janeiro (e no final de dezembro), percebeu-se a ação combinada do

geotêxtil com a cobertura vegetal que já estava crescida na proteção dos solos (Quadro 1).

Quanto à erosão, a parcela com o geotêxtil chegou a  $121,31\text{g m}^{-2}$ , valor 13 vezes inferior ao sistema com solo exposto ( $1.906,67\text{g m}^{-2}$ ). As duas semanas de estiagem implicaram na maior incidência dos raios solares na superfície dessa última parcela, podendo ocasionar maior evaporação, o que pode ter favorecido a instabilidade dos agregados por perda de coesão aparente na parcela com solo exposto, justificando essa grande diferença na produção de sedimentos entre os experimentos (Smets *et al.*, 2008; Smets e Poesen, 2009; Bhattacharyya *et al.*, 2009, 2010)

Os totais pluviométricos no mês de fevereiro chegaram a  $208,2\text{mm}$ , gerando um escoamento superficial de  $70,45\text{L m}^{-2}$  na parcela com o solo exposto enquanto no sistema com o geotêxtil registrou-se  $22,78\text{L m}^{-2}$ . No tocante à erosão, o segundo maior valor total durante o monitoramento no sistema com solo exposto, foi mensurado neste período, com  $5.022,99\text{g m}^{-2}$ , praticamente dez vezes superior à parcela com os geotêxteis. Neste período, evidencia-se a ação combinada do geotêxtil com a cobertura vegetal que já está bem desenvolvida (Quadro 1).

Sobre a importância das gramíneas na contenção da erosão superficial, Silva *et al* (1999), em trabalho realizado com parcelas em Iraí de Minas/MG, consideram que a perda por erosão com essas condições de cobertura depende da intensidade, da duração e da localização dos eventos chuvosos, na qual o experimento está inserido. Os autores ressaltaram que durante a estação chuvosa, o mês de dezembro (1998), houve menor perda de solo, destacando a importância da cobertura vegetal (pastagem) na proteção superficial, impedindo ou diminuindo a ação da erosão por salpicamento e o arraste laminar das partículas e minerais do solo.

O maior valor mensal de chuvas foi registrado no mês de março com  $306,6\text{mm}$ , influenciando diretamente os resultados do escoamento superficial e a remoção de sedimentos na estação experimental. Aliada a uma considerável frequência e magnitude dos eventos chuvosos neste mês, a formação de crostas superficiais implicou no decréscimo da infiltração e, conseqüentemente, no aumento do fluxo superficial ( $79,59\text{m}^{-2}$ ), o maior registrado no estudo, com perda de  $5.235,04\text{g m}^{-2}$  (Quadro 1).

Por outro lado, no sistema com o geotêxtil, foi mensurado o segundo menor escoamento superficial ( $20,95\text{L m}^{-2}$ ) e a menor perda por erosão ( $8,43\text{g m}^{-2}$ ) de todo o período monitorado (Quadro 1). Isto pode ter ocorrido devido ao estabelecimento da cobertura de gramíneas e sua malha de raízes, que substituíram os geotêxteis na proteção do solo.

No tocante à malha de raízes, Cambra & Coelho Netto (1998), estudando a densidade do sistema radicular em área de pastagens no município de Bananal/SP, demonstraram que a densidade de raízes apresentou valores muito baixos



na relação entre o peso de raízes e o peso do solo, visto que as raízes das gramíneas são caracteristicamente finas, podendo alcançar espessuras de, no máximo, até 1mm. Assim, a densidade das raízes das gramíneas facilitou o processo de infiltração no experimento, podendo ter influenciado os baixos valores do fluxo superficial no mês de março.

### Eficiência dos geotêxteis

Considerando os valores mensais de fluxo superficial e a taxa de erosão no experimento foram calculados o coeficiente de escoamento superficial (CES), a eficiência dos geotêxteis na redução do escoamento superficial (EGRES) e a eficiência dos geotêxteis na redução da produção de sedimentos (EGRPS), baseados na metodologia de Sutherland (1998a, 1998b). Com esses cálculos foi possível fazer um estudo comparativo sobre a eficiência dos geotêxteis com outras pesquisas.

O coeficiente de escoamento superficial (CES) chegou a 28,07 % (SE) e a 12,17% (GE), indicando a importância de uma cobertura no solo para a diminuição do fluxo superficial. Os valores de escoamento ( $L m^{-2}$ ) e perda de solos ( $g m^{-2}$ ) foram transformados logaritmicamente para poderem ser diferenciados e visualizados nos gráficos (Figura 4). Estatisticamente, a diferença desses parâmetros entre as parcelas com solo exposto (SE) e geotêxteis com cobertura vegetal (GE) foram significativas

no teste de Mann-Whitney ( $P < 0,05$ ) (Figura 6) (Smets *et al.*, 2008; Guerra *et al.*, 2009; Smets e Poesen, 2009; Bhattacharyya *et al.*, 2009, 2010).

No tocante à eficiência dos geotêxteis na redução do escoamento superficial (EGRES) e na sua eficiência na redução da produção de sedimentos (EGRPS), as suas taxas foram de 56,65% e 93,34% respectivamente. Esses resultados demonstraram que os geotêxteis de fibra de buriti foram eficientes na redução do fluxo superficial e na produção de sedimentos, quando comparados com outros estudos que utilizaram outros materiais como geotêxteis.

Os resultados obtidos por Bhattacharyya (2010), em um estudo de erosão em parcelas realizado por Hilton (Inglaterra), demonstraram que as parcelas com gramíneas atingiram os menores valores de escoamento superficial e as maiores taxas de redução do escoamento superficial (EGRES), quando comparadas com os outros experimentos. As parcelas sem proteção atingiram os valores mais elevados do coeficiente de escoamento superficial (CES). As parcelas com solo exposto e com geotêxteis (produzidos a partir da fibra da palmeira Borassus) obtiveram 75% e 32% maiores fluxos superficiais que as parcelas com gramíneas. Em relação à eficiência dos geotêxteis na redução da produção de sedimentos (EGRPS) para as parcelas com Borassus e Buriti, estas alcançaram 92% e 97% respectivamente (Bhattacharyya, 2010).

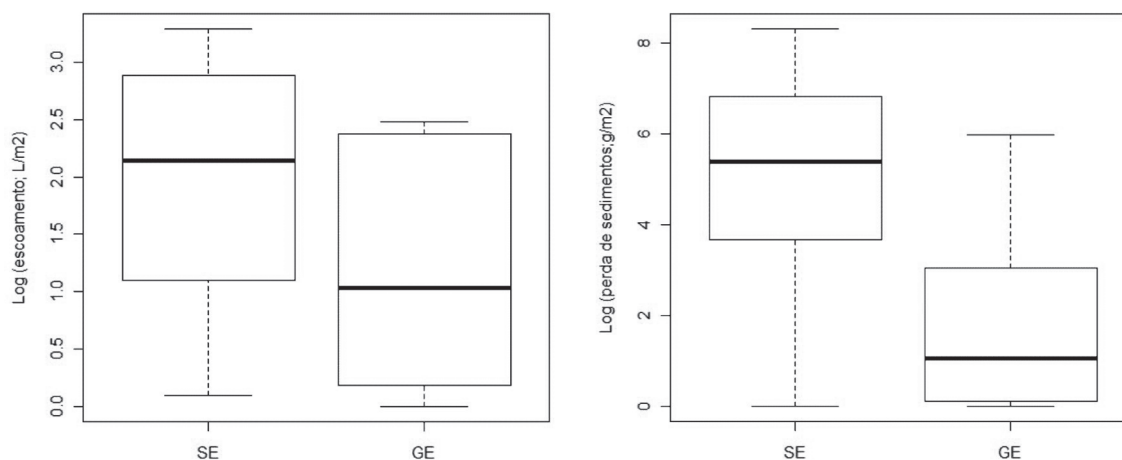


Figura 6 - Diferença na geração do escoamento superficial e perda de sedimentos entre as parcelas com solo exposto (SE) e geotêxteis com gramíneas (GE). As diferenças foram significativas no teste de Mann-Whitney ( $P < 0,05$ ).

As correlações entre os eventos pluviométricos e a geração do escoamento superficial foram consideradas significativas nas duas parcelas (SE =  $P < 0,05$ ; GE =  $P < 0,01$ ). O volume do escoamento superficial por unidade de área aumentou significativamente ( $P < 0,05$ ), com o aumento da precipitação

numa taxa de  $0,023 L m^{-2} mm^{-1}$  na parcela com solo exposto, enquanto na parcela com geotêxteis com cobertura vegetal o fluxo superficial ( $m^2$ ) aumentou significativamente ( $P < 0,01$ ) com o aumento da precipitação, numa taxa de  $\sim 0,023 L m^{-2} mm^{-1}$  (Figura 7: SEa, GEb).



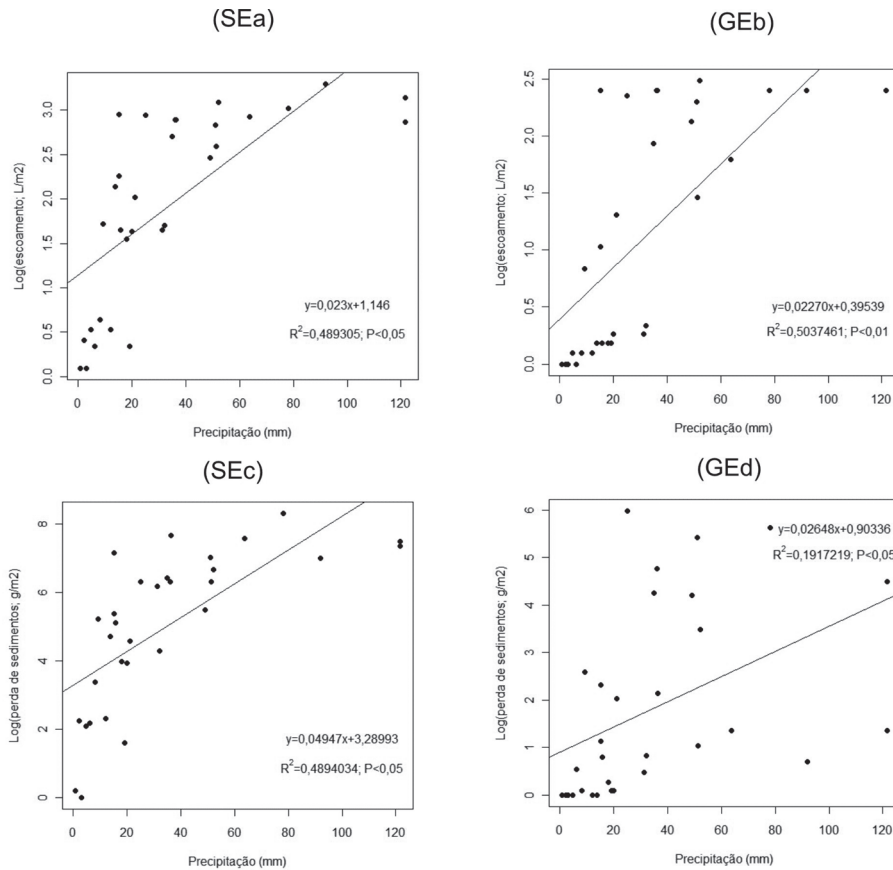


Figura 7 - Correlação entre precipitação e escoamento superficial.

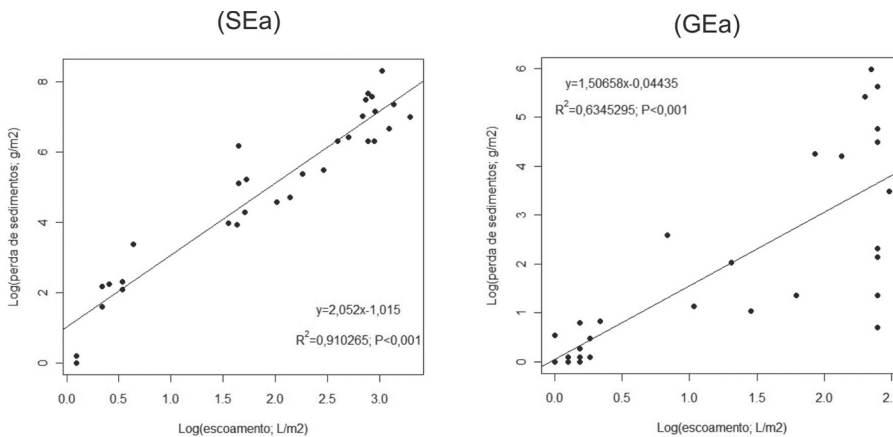


Figura 8 - Relação entre escoamento superficial e perda de sedimentos.

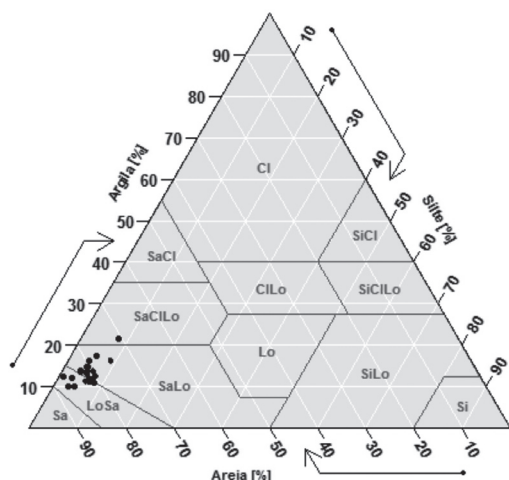
As relações entre os índices pluviométricos e a produção de sedimentos demonstraram também diferenças significativas nas parcelas SE ( $P<0,05$ ) e GE ( $P<0,05$ ). As taxas de perda de solos por unidade de área na parcela sem proteção aumentou significativamente ( $P<0,05$ ) com o acréscimo da precipitação, no valor de  $\sim 0,05g\ m^{-2}\ mm^{-1}$ . No sistema com geotêxteis e

gramíneas, a produção de sedimentos em unidade de área ( $m^2$ ) cresceu significativamente ( $P<0,05$ ) com o aumento da precipitação numa taxa de  $0,026g\ m^{-2}\ mm^{-1}$  (Figura 7: SEc, GEc). Esses resultados reforçam o papel dos geotêxteis biodegradáveis como uma técnica de conservação do solo (Ahn *et al.*, 2002; Vacca *et al.*, 2000; Smets *et al.* 2009).

No que se refere à correlação entre a geração do escoamento superficial e a perda de sedimentos, as diferenças foram significativas em ambos os segmentos SE ( $P < 0,001$ ) e GE ( $P < 0,001$ ), sendo que a perda de sedimentos por unidade de área ( $m^2$ ) aumentou com o acréscimo do fluxo superficial em  $2,056 m^2 L m^{-2}$  e  $1,506 m^2 L m^{-2}$  respectivamente (Figura 8). Esses resultados reforçam a necessidade da aplicação da bioengenharia de solos na reabilitação de áreas degradadas, como já apontaram Descheemaeker *et al.*, 2006; Smets *et al.*, 2009; Fatahia *et al.*, 2010.

A textura dos sedimentos transportados na estação experimental corresponde às frações franco-argilo-arenosas, franco-arenoso e areia-franca (Figura 9), seguindo a classificação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Na parcela com solo exposto, a granulometria do material transportado é caracterizada como 84,40% areia, 11,32% argila, 4,28% silte. No tocante à granulometria das partículas retidas no galão, na parcela com geotêxteis é caracterizada como 79,41% areia, 14,94% argila, 5,65% silte.

Esses dados demonstram a eficiência dos geotêxteis na retenção dos sedimentos de maior granulometria, o que pode ser comprovado pela diferença do escoamento nos experimentos já apresentados. Outra função da malha do geotêxtil foi promover obstáculo ao fluxo superficial, como também ancorar as partículas e as sementes, impedindo o seu transporte. Suas propriedades análogas à “serrapilheira” também oferecem um impedimento à formação do fluxo de água, através da absorção da umidade. Uma vez excedida essa capacidade de absorção tanto do geotêxtil quanto do solo, forma-se o escoamento (Sathler *et al.*, 2005; Guerra *et al.*, 2005; Bezerra *et al.*, 2010).



abv	Nome	abv	nome
CI	Argila	Lo	Franco
SiCl	Argilo-siltoso	SiLo	Franco siltoso
SaCl	Areno-argilosa	SaLo	Franco arenoso
CILo	Franco argiloso	Si	Silte
SiClLo	Franco argilo-siltoso	LoSa	Areia-franca
SaClLo	Franco argilo-arenoso	Sa	Areia

Figura 9 - Distribuição das amostras no diagrama triangular (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - USDA).

## Conclusões

A metodologia utilizada na pesquisa foi considerada satisfatória para atingir os objetivos propostos. Os geotêxteis garantiram uma proteção inicial ao solo, formando uma barreira contra o efeito *splash*, escoamento superficial e a remoção de partículas. Os geotêxteis impediram a remoção das sementes das braquiárias da parcela, servindo também como suporte para o seu desenvolvimento.

A parcela com solo exposto apresentou alguns processos que ocorrem em uma superfície sem cobertura vegetal, com encrostamento da superfície, rede de ravinas, erosão em pedestais, elevada taxa de transporte de sedimentos, baixa umidade superficial do solo no período com pequena precipitação. Essas informações confirmaram a importância da vegetação para o solo ou a utilização de outras formas de conservação que visem a sua proteção. Dessa forma, os objetivos da pesquisa foram alcançados a partir dos procedimentos metodológicos adotados.

Com os resultados alcançados na estação experimental espera-se contribuir para a construção de uma técnica de conservação do solo, a partir da união do conhecimento geomorfológico com a bioengenharia de solos, relacionados ao controle dos processos erosivos superficiais. As perspectivas de aplicação da técnica englobam os seguintes casos:

- Estabilização de voçorocamento, com a aplicação direta junto à superfície exposta;
- Contenção de redes de ravinamento;
- Aplicação em taludes de estradas, como procedimento preventivo para a contenção dos processos erosivos acelerados;
- Diminuição dos efeitos *onsite* e *offsite* da erosão dos solos, principalmente em áreas agrícolas;
- Adoção em projetos de engenharia, que priorizem a infiltração das águas;
- Complementação da renda de comunidades carentes, através da confecção dos geotêxteis, destacando o trabalho artesanal.

## Agradecimentos

Essa pesquisa constitui parte do Projeto Borassus “As contribuições ambientais e socioeconômicas dos geotêxteis feitos com folhas de palmeiras para atingir-se o desenvolvimento sustentável e a conservação dos solos” (INCO-CT-2005-510745), patrocinado pela Comissão Europeia (CE), Programa de Projetos de Pesquisa com Objetivos Específicos (FP6 - STREPs) para Países em Desenvolvimento (INCO-DEV).

## Referências bibliográficas

- AHN, T. B.; CHO, S. D.; & YANG, S.C. Stabilization of soil slope using geosynthetic mulching mat. In: **Geotextiles and Geomembranes**, V. 20., p. 135-146, 2002.
- ARAÚJO, H. DE S.; ALMEIDA, J. R. DE & GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2005.
- BACCARO, C. A. da. Processos erosivos no Domínio do Cerrado. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. & BOTELHO, R. G. M (orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2001.
- BACCARO, C. A. da; SILVA, J. B. & CAMPOS, C. A. A. Dinâmica da erosão laminar na micro-bacia do córrego Pantaninho – Irai de Minas/MG. In: **VIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Belo Horizonte, 1999.
- BEZERRA, J. F. R. Avaliação de geotêxteis no controle da erosão superficial a partir de uma estação experimental, Fazenda do Glória – MG. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Uberlândia, 104 p., 2006.
- BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T. & FULLEN, M. A., Teles, T. Soil Bioengineering applied to soil erosion in São Luís City, Brazil. In: **Human Impact on Gully Erosion, 5th International Symposium on Gully Erosion**, 2010, Lublin. Human Impact on Gully Erosion, 2010.
- BHATTACHARYYA, R. Utilization of palm-mat geotextiles for soil conservation on arable loamy sands in the United Kingdom. **Thesis**. University of Wolverhampton. 2010.
- BHATTACHARYYA, R.; FULLEN, M. A.; DAVIES, K. & BOOTH, C. A. Utilizing palm-leaf geotextile mats to conserve loamy sand soil in the United Kingdom. In: **Agriculture, Ecosystems and Environment**, V. 130., p. 50-58., 2009.
- BHATTACHARYYA, R.; SMETS, T.; FULLEN, M. A.; POESEN, J. & BOOTH, C. A. Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis. In: **Catena**, V. 81., p. 184-195., 2010.
- CAMBRA, M. F. E. S. & COELHO NETTO, A. Propriedades físicas do solo e densidade de raízes: variáveis-controle no processo de infiltração vertical do solo em áreas de pastagem, Bananal/SP. In: **Geosul**, CFH – Florianópolis 14., 1998.
- CARRIJO, B. R. & BACCARO, C. A. D. Análise sobre a erosão hídrica na área urbana de Uberlândia/MG. In: **Caminhos de geografia**, V. 1, p. 70-83., 2000.
- CASSETI, V. **Geomorfologia**. In: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/index.php>., 2006.
- DEFLO. **Principais vantagens dos geotêxteis antierosivos**. <http://www.deflor.com.br/portugues/produtos.html#>. Acessado em 19 de agosto de 2005.
- DESCHEEMAER, K., NYSSSEN, J., POESEN, J., RAES, D., HAILE, M., MUYS, B. & DECKERS, S. Runoff on slopes with restoring vegetation: A case study from the Tigray Highlands, Ethiopia. In: **Journal of Hydrology**, V. 331. p. 219-241., 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos e análises Ssolo**. EMBRAPA/SNLCS. Rio de Janeiro, 1997.
- FATAHIA, B.; KHABBAZA, H. & INDRARATNA, B. Bioengineering ground improvement considering root water uptake model. **Ecological Engineering**. V. 36., p. 222-229, 2010.
- FULLEN, M. A. & GUERRA, A. J. T. The potencial of palm (Borassus) mat geotextiles as a soil conservation technique. In: **IV Simpósio Nacional de Geomorfologia**. São Luís., 2002.
- FULLEN, M.A. & CATT, J.A. **Soil Management: Problems and Solutions**. Arnold Publishers, London, 269 p., 2004.
- GANGOLELLS, M.; CASALS, M.; GASSÓ, S.; FORCADA, N.; ROCA, X. & FUERTES, A. A methodology for predicting the severity of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. In: **Building and Environment**, V. 44., p. 558-571., 2009.
- GOETHALS, M. M.; NIEDERMANN, S.; HETZEL, R. & FENTON, C. R. Determining the impact of faulting on the rate of erosion in a low-relief landscape: A case study using in situ produced 21Ne on active normal faults in the Bishop Tuff, California. In: **Geomorphology**, v. 103., p. 401-413., 2009.
- GUERRA, A. J. T. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. In: **Anuário do instituto de geociências**, V. 13., p. 43-52., 1990.
- GUERRA, A.; MARCAL, M.; POLIVANOV, H.; SATHLER, R.; MENDONÇA, J.; GUERRA, T.; BEZERRA, F.; FURTADO, M.; LIMA, N.; SOUZA, U.; FEITOSA, A.; DAVIES, K.; FULLEN, M. A. & BOOTH, C. A. Environmental management and health risks of soil erosion gullies in São Luís (Brazil) and their potential remediation using palm-leaf geotextiles. In: **Environmental Health Risk III** (eds C.A. Brebbia, V. Popov & D. Fayzieva), Wessex Institute of Technology (WIT) Press, Southampton, UK., p. 459-467., 2005.
- GUERRA, A. J. T.; MENDES, S.P.; LIMA, F.S.; SATHLER, R.; GUERRA T. T.; MENDONÇA, J. K. S. & BEZERRA, J. F. R. Erosão urbana e recuperação de áreas degradadas no Município de São Luís/Maranhão. In: **Revista de Geografia**, Recife, V. 26., p. 85-135., 2009.
- KIRKBY, M. J., BULL, L. J. POESEN J., NACHTERGAELE J. & VANDEKERCKHOVE L. Observed and modelled distributions of channel and gully heads—with examples from SE Spain and Belgium. In: **Catena**, V. 50., p. 415– 434., 2003.
- LEKHA, K. R. Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilised slopes – a case study. In: **Geotextiles and geomembranes**, V. 22., p. 399-413., 2003.



- LI, X., ZHANG, L, ZHANG, Z. Soil bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town, Shanghai, China. In: **Ecological Engineering**, V. 26., p. 304-314., 2006.
- MORGAN, R.P.C. A simple approach to soil loss prediction: a revised. **Catena**, V. 44, p. 305–322, 2001.
- OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçoroca. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. & BOTELHO, R. G. M. (ORGS). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil., 1999.
- PINESE JR., J. F.; LÍZIA, M. C. & RODRIGUES, S. C. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia – MG. **Sociedade & natureza**, V. 20, p. 157-175, 2008.
- POESEN, J.; De LUNA, E.; FRANCA, A.; NACHTERGAELE, J. & GOVERS, G. Concentrated flow erosion rates as affected by rock fragment cover and initial soil moisture content. In: **Catena**, 36. p., 315–329., 1999.
- SALOMÃO, F. X. T. Controle e preservação dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T, SILVA, A. B., BOTELHO, R. C. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- SATHLER, R., GUERRA, A.J.T., POLIVANOV, H., MARÇAL, M. Erosive processes in urban areas on the island of Maranhão – Brazil. **Sociedade & Natureza (Special Issue)**, p. 161-173, 2005.
- SILVA, E. M. & ASSUNÇÃO. W. L. O clima da cidade de Uberlândia-MG. In: **Sociedade e natureza**, V. 16, p. 91-107, 2004.
- SILVA, J. B. da. Avaliação da perda de solo por fluxo superficial utilizando parcelas experimentais: estudo de caso na bacia hidrográfica do córrego do Glória em Uberlândia. **Dissertação de mestrado**. Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia, 147 p., 2006.
- SILVA, J. B. DA; BACCARO, C. A. D.; CAMPOS, C. A. A. & SILVA, G. A. Uso de *Plots* na mensuração da perda de solo por erosão laminar na Micro-bacia do Córrego da Divisa – Irai de Minas/MG. In: **VIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Belo Horizonte: V. 1, p. 386-387, 1999.
- SMETS, T. & POESEN, J. Impacts of soil tilth on the effectiveness of biological geotextiles in reducing runoff and interrill erosion. In: **Soil & Tillage Research**, 103, p. 356-363, 2009.
- SMETS, T.; POESEN, J. & KNAPEN, A. Spatial scale effects on the effectiveness of organic mulches in reducing soil erosion by water. In: **Earth-Science Reviews**, V. 89, p. 1-12, 2008.
- SMETS, T.; POESEN, J.; KNAPEN, A.; LANGHANS, C.; KNAPEN, A. & FULLEN, M.A. Concentrated flow erosion rates reduced through biological geotextiles. In: **Earth Surface Processes and Landforms**, V. 34, p. 493-502, 2009.
- STOKES, A.; SOTIR, R.; CHEN, W. & GHESTEM, M. Soil bio- and eco-engineering in China: past experience and future priorities. In: **Ecological engineering**, V. 36, p. 247-257, 2010.
- SUDO, H. Processos erosivos e variabilidade climática. In: SANT’ ANNA NETO, JOÃO LIMA E ZAVATINI, JOÃO AFONSO (Orgs). **Variabilidade e mudanças climáticas – implicações ambientais e sócioeconômicas**. Maringá. UEM. 2000.
- SUTHERLAND, R. A. Rolled erosion control systems for hillslope surface protection: a critical review, synthesis and analysis of available data. I. Background and formative years. In: **Land Degradation & Development** 9. p. 465-486, 1998a.
- SUTHERLAND, R. A. Rolled erosion control systems for hillslope surface protection: a critical review, synthesis and analysis of available data. II. The post-1990 period. In: **Land Degradation & Development** 9, p. 487-511, 1998b.
- VACCA, A.; LODDO, S.; OLLESCH, G.; PUDDU, R.; SERRA, G.; TOMASI, D. & ARU. A. Measurement of runoff and soil erosion in three areas under different land use in Sardinia - Italy. In: **Catena**, V. 40, p. 69-92, 2000.