

RELAÇÃO ENTRE RISCO DE EROÇÃO E DISTÂNCIA DE CAMALHÕES EM ESTRADAS FLORESTAIS¹

FLÁVIA ALESSIO MARCELINO²; PAULO T. FENNER³; HELMER SCHACK-KIRCHNER⁴; MAURA S. T. ESPERANCINI⁵ & DANILO SIMÕES⁶

RESUMO: As estradas florestais são importantes vias de acesso às florestas, servindo para viabilizar o tráfego de trabalhadores, veículos e tratores necessários para implantação, proteção, colheita e transporte dos produtos florestais. Os sedimentos carregados para os cursos d'água representam impactos ambientais aos recursos naturais. Para a identificação das redes viárias e quantidade de camalhões no sistema de drenagem, utilizou-se o programa computacional SIG-GRASS. O camalhão pode ser um recurso de controle ou mitigação de erosão em estradas florestais. Desta forma, o objetivo desse trabalho foi propor um modelo teórico entre distância entre camalhões para fator topográfico LS igual a 1. De acordo com os resultados, para manter o fator topográfico LS igual a 1, em estradas florestais com greide menor que 3,0% e greides que variam entre 3,0 a 4,8%; 4,8 a 5,6%; 5,6 a 6,1%; 6,1 a 6,4%; 6,4 a 6,8%; 6,8 a 7,4% e 7,4 a 8,1%, a distância entre camalhões devem ser de 600 m, 150 m, 90 m, 70 m, 60 m, 50 m, 40 m e 30 m, respectivamente. A aplicação do modelo teórico de distância entre camalhões possibilita dimensionar corretamente o número de camalhões necessários para controlar ou mitigar o risco de erosão em estradas florestais não pavimentadas.

Palavras-chave: Rede viária, fator topográfico, SIG-GRASS, controle.

¹ Parte da tese de doutorado do 1º autor intitulado: Avaliação dos Sistemas de Redes Viárias Florestais em Função dos Custos e do Risco de Erosão.

² Ex Aluna do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" - UNESP, Botucatu, SP, Brasil. flaviaalessio@gmail.com

³ Orientador e Docente do Departamento de Recursos Naturais - Ciências Florestais - UNESP, Botucatu, SP, Brasil. fenner@fca.unesp.br

⁴ Co-orientador e Docente do Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg - Alemanha, helmer.schack-kirchner@bodenkunde.uni-freiburg.de

⁵ Co-orientadora e Docente do Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial - UNESP, Botucatu, SP, Brasil. maura@fca.unesp.br

⁶ Aluno do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" - UNESP, Botucatu, SP, Brasil. daniilo@fca.unesp.br

RELATION BETWEEN EROSION RISK AND RIDGE DISTANCE IN FORESTRY ROADS

SUMMARY: *Forestry roads are important routes of access to forests, serving to facilitate traffic from workers, vehicles and tractors necessary for deployment, protection, harvesting and transport of forestry products. The sediments carried to waterways represent environmental impacts on natural resources. To identify the road networks and the amount of ridges in the drainage system, we used the computer program SIG-GRASS. The ridge can be a control feature or mitigation of erosion on forest roads. Thus, the objective of this study was to propose a theoretical model of distance between ridges for the topographic factor LS equal to 1. According to the results, in order to keep the topographical factor of LS equal to 1 in forestry roads with a gradient of 3.0% and that variously grades 3.0 to 4.8%, 4.8 to 5.6%, 5.6 to 6.1%, 6.1 to 6.4%, 6.4 to 6.8%, 6.8 to 7.4% and 7.4 to 8.1%; the distance between ridges should be 600 m, 150 m, 90 m, 70 m, 60 m, 50 m, 40 m and 30 m, respectively. The application of the theoretical model for distance between ridges allows for the proper sizing of the ridges needed to control or mitigate the risk of erosion on unpaved forest roads.*

Keywords: *Roads, topographical factor, GIS-GRASS control.*

1 INTRODUÇÃO

A malha viária de qualquer País é de importância vital para sua economia, e as condições de suas propriedades físicas de sua infra-estrutura são primordiais. Sem manutenção adequada e constante, as rodovias convencionais e rurais inexoravelmente irão se deteriorar, aumentando os custos operacionais dos veículos, o número de acidentes e reduzindo a confiabilidade nos serviços de transporte (OLIVEIRA, 2005).

As estradas florestais são complexas estruturas de engenharia das quais depende o eficiente e seguro transporte e locomoção. Entretanto, a construção de estradas florestais é frequentemente considerada problemática por causa de alto potencial de impacto ambiental e principalmente em termos da erosão e do assoreamento dos cursos d'água (SCHACK-KIRCHNER et al., 2006; Garcia et al., 2003).

Bertolini et al. (1993) afirmam que as águas pluviais constituem a principal causa de erosão nas estradas, revestindo-se de grande importância a captação e o disciplinamento dessas águas, de forma a eliminar seu efeito destruidor, acumulando-as em locais determinados e forçando sua penetração na terra, o que favorece o abastecimento do lençol freático e, conseqüentemente, alimenta fontes e nascentes naturais.

Versfeld (1981) verificou que o aumento do escoamento superficial e da erosão não resulta diretamente das atividades florestais em si, como, o corte e o desbaste, mas sim são processos de ocorrência localizada, sendo originados principalmente nas estradas, nos carreadores e em áreas compactadas. Assim, o planejamento adequado destas atividades torna-se necessário para alcançar um controle mais efetivo da erosão.

De acordo com Meyer e Mannerling (1967) a USLE (Universal Soil Loss Equation) é um dos principais e mais completos modelos empíricos utilizados para prever a perda média de solo por enxurrada a longo prazo de áreas sob específicos cultivos e sistemas de manejo. Estes autores resumiram os fatores que levam à erosão do solo em uma equação de perda de solo e, por meio dela, avaliaram a perda média anual de solo, expressa em toneladas por hectare. Essa metodologia foi adaptada para as condições do Brasil por Bertoni e Lombardi Neto (1999) conforme a Equação 1.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

onde:

A - representa a perda média anual de solo, expressa em toneladas por hectare.

R - representa o fator de erosividade da chuva (*Erosivity*);

K - representa o fator de erodibilidade do solo (*Erodibility*);

LS - representa o fator topográfico (*Length Slope factor*);

C - é o fator de preparo e cobertura do solo (*Crop management factor*);

P - representa as práticas conservacionistas (*Conservation practices*).

Conforme Antonangelo (2004), no caso específico das estradas de uso florestal brasileiras, diante das dificuldades e da falta de padronização apresentadas pelos métodos disponíveis para a análise de seu potencial de apresentar erosão, principalmente, no que se refere à obtenção dos dados (variações de equipamentos e períodos de coleta, por exemplo), calibração dos parâmetros (que, por sua vez, têm outros parâmetros implícitos difíceis de serem levantados e analisados) e confiabilidade dos resultados, há a possibilidade de utilização de um único fator da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) para analisar tal processo.

Segundo Dadalto et al. (1990), a erosão será maior com o aumento do greide e do comprimento de rampa, fatores que aceleram a velocidade da enxurrada. De acordo com Wischmeier e Smith (1978), o fator topográfico LS permite ajustar a perda de solo para um dado comprimento e greide a partir da parcela padrão e é calculado pela Equação 2:

$$LS = \left(\frac{l}{22,1} \right)^m \times \frac{s}{9} \times \sqrt{\frac{s}{9}} \quad (2)$$

onde:

LS - fator topográfico;

l - comprimento da rampa (em metros);

m - expoente do comprimento da rampa;

s - greide (%).

O expoente do comprimento da rampa (m) depende do greide e é menor para rampas planas que para rampas íngremes.

Tabela 1 - Expoente do comprimento da rampa (m) para diferentes greides.

Greide (%)	Expoente (m)
≤ 0,5	0,15
0,6 – 1,0	0,20
1,1 – 3,4	0,30
3,5 – 4,9	0,40
≥ 5	0,50

Fonte: Nill et al. (1996).

Em greides inferiores, o expoente do comprimento da rampa é menor por causa da pouca ação da força da lenta enxurrada formada. Desse modo, maior volume de água permanece sobre o campo por mais tempo e a profundidade de infiltração no solo aumenta, ou seja, o tempo para infiltração no solo é maior e, no mínimo, parte da superfície do solo é protegida contra o impacto das gotas pela camada de água. Um Expoente do comprimento da rampa menor que 1 mostra que a perda de solo decresce com o aumento do comprimento da rampa.

Devido aos riscos de erosões em estradas florestais, o estudo foi conduzido com o objetivo de propor um modelo teórico de distância entre camalhões para fator topográfico LS igual a 1, tornando para este como padrão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em uma propriedade rural com reflorestamentos, a qual possui um total de 11.909 ha, com um plantio efetivo em 9.804 ha, pertencente a uma empresa particular que produz madeira da espécie *Eucalyptus grandis* HILL EX. MAIDEN, com um ciclo de corte de seis anos, situada entre as coordenadas geográficas de Latitude 22°47'37.86"S a 22°48'29.74"S e Longitude 48°58'56.39"W a 48°49'28.16"W, no interior do Estado de São Paulo, Brasil.

A área rural está dividida em duas partes distintas no que se refere à rede viária (Figura 1):

- Rede viária ortogonal: onde as estradas foram construídas em linhas retas, formando talhões retangulares, chamadas de estradas ortogonais;
- Rede viária em nível: onde as estradas seguem as curvas do relevo, chamadas de estradas em nível.

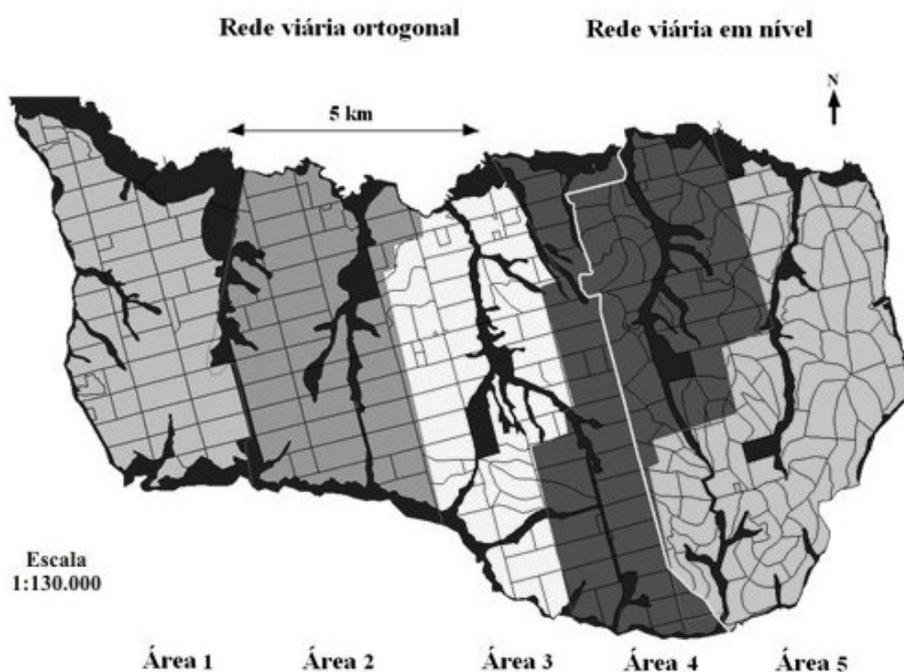


Figura 1 - Áreas referentes à classe de solo da propriedade de reflorestamento.

Fonte: Mapa digitalizado com base nos dados fornecidos pela empresa.

A área rural possui relevo plano a ondulado e foi dividida em cinco áreas (FIGURA 1), segundo as diferentes classes de solo, descritas a seguir:

- Área 1, com 2.047,00 ha, é composta por Latossolo Vermelho, com relevo caracterizado como suavemente ondulado, possuindo declives que podem chegar a 15% e comprimento da rampa excedendo a 500 metros;

- Áreas 2 e 3, com 1.991,00 ha e 2.019,35 ha, respectivamente predominam Latossolo Vermelho textura arenosa, possuindo o restante características idênticas à Área 1. Nas Áreas 1, 2 e 3 está localizada a maior parte da rede viária ortogonal;
- Área 4, com 2.957,60 ha, é a única área que contém as redes viárias ortogonal e em nível, possui rampas que ultrapassam a 10% de declive e onde predomina o Latossolo Vermelho;
- Área 5, com 2.774,00 ha, o que a difere das outras áreas é o relevo ondulado, com declividade entre 10 a 15%, com superfícies inclinadas de forma retilínea, marcada pela ausência de topos aplainados, onde está localizada a maior parcela da rede viária em nível.

A digitalização de imagens foi realizada por meio do programa computacional de Sistema de Informações Geográficas GRASS, de acordo com a metodologia proposta por Ramalho Filho et al. (1997), sendo a base de dados obtida a partir de uma série de mapas em uma mesma escala, definidos pelo mesmo espaço, num sistema de coordenadas e pelo tipo de código armazenado.

Para a obtenção das características principais da rede viária ortogonal e em nível existente na propriedade rural, como: comprimento, greide, fator topográfico LS e identificação das estradas, utilizou-se o software estatístico R (R-Statistics) como procedimento de programação para o GRASS.

Para o levantamento da quantidade de camalhões existentes nas redes viárias foram escolhidos diversos trechos de estradas, onde ocorre a movimentação de veículos permanentemente ou temporariamente na época de colheita da madeira. Estes trechos são demonstrados na Figura 1, onde estão situadas as redes viárias ortogonais e em nível.

A extensão do experimento foi de 52,46 km, divididos proporcionalmente entre as estradas da rede ortogonal e em nível. Foram observados e anotados nos mapas o número de camalhões encontrados para cada rampa de estrada percorrida (Figura 2).

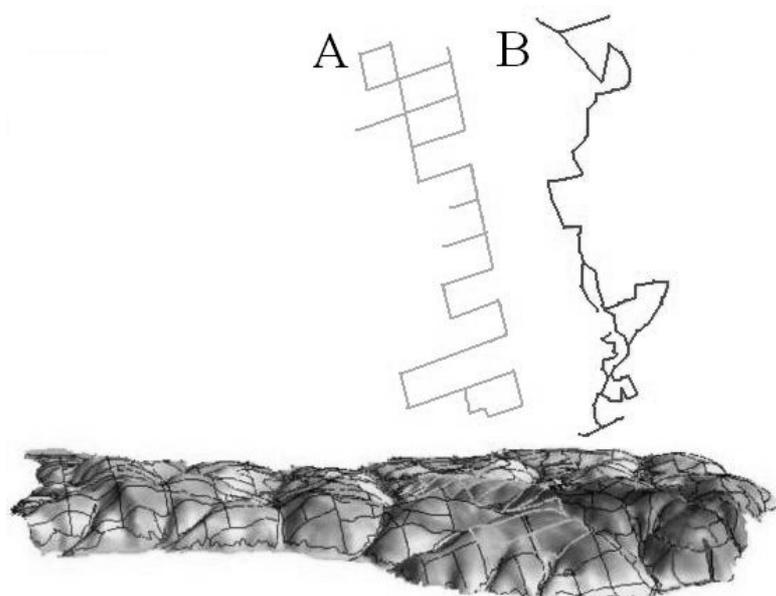


Figura 2 - Trechos percorridos da rede viária ortogonal (A) e da rede viária em nível (B).

Com o propósito de caracterizar a relação entre a variável dependente (distância entre os camalhões) e a variável independente (greide) foi realizada a análise estatística, por meio do procedimento de regressão polinomial para a rede viária ortogonal e em nível. A identificação da equação que mais se ajustou ao modelo foi obtida por meio da visualização do diagrama de dispersão (Z e Y).

O modelo teórico da distância entre camalhões para fator topográfico LS igual a 1, foi calculado isolando-se a variável l (comprimento da rampa) da Equação 2. Desta forma para o cálculo da distancia entre camalhões foi utilizada a Equação 3.

$$l = 22,1 \times \sqrt{\frac{LS}{\frac{1}{27} \times \sqrt{s}}} \quad (3)$$

onde:

l - comprimento da rampa (m);

LS - 1;

m - expoente do comprimento da rampa (Tabela 1);

s - greide (%).

Com a distância entre camalhões calculada conforme Equação 3, calculou-se também o número de camalhões do modelo teórico para as redes viárias ortogonal e em nível.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas estradas da rede viária ortogonal foram determinados 204 camalhões em 27,18 km e na rede viária em nível foram identificados apenas 79 camalhões em 25,27 km, estes principalmente nos carregadores em pendente.

O número de camalhões encontrados nas rampas das estradas foi distribuído em classes de greide, com a distância entre camalhões nas redes viária ortogonal e em nível, apresentada na Tabela 2. Na rede viária ortogonal percorrida não havia trechos de estradas com greide entre 10 a 12 %.

Tabela 2 - Distância entre camalhões conforme o greide da estrada.

Greide (%)	Distância entre camalhões (m)	
	Ortogonal	Em nível
0-2	597	2315
2-4	140	453
4-6	102	225
6-8	65	94
8-10	64	107
10-12	-	103

Observa-se na Figura 3, que a curva de distância entre camalhões na rede viária em nível ficou visivelmente acima da curva da rede viária ortogonal, ou seja, houve a necessidade de se construir um maior número de camalhões na rede viária ortogonal para o sistema de rede de drenagem das estradas, portanto a rede viária em nível apresentou uma distância entre camalhões maior do que na rede viária ortogonal, ou seja, foi necessário menor número de camalhões por km.

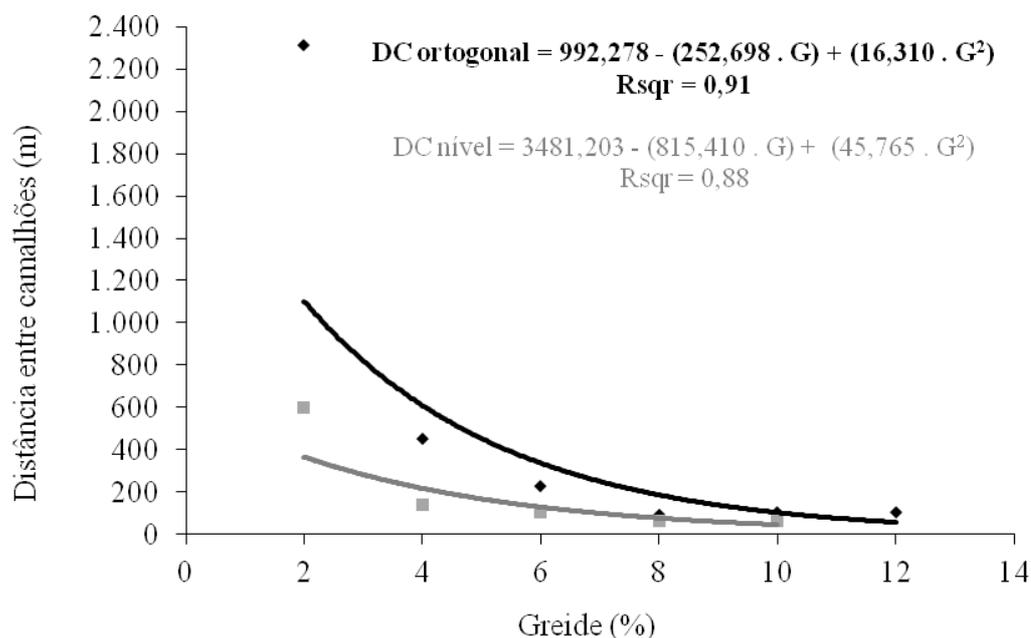


Figura 3 - Distância entre camalhões (DC) existentes na rede viária ortogonal e em nível, em função do greide (G) e da área considerada em campo.

Machado e Silva (2001) classificaram a distância entre camalhões em função do greide da estrada. Definiram uma distância mínima de 30 m entre camalhões, pois com distâncias menores poderia ocasionar o risco de avarias nos eixos dos veículos de transporte de madeira.

Quando se aplica valor exatamente igual a 1, a participação do fator topográfico LS é nula (na equação da perda de solo – Equação 1). Porém, quando valores maiores que 1 são aplicados, verifica-se que o valor resultante é ampliado, mostrando a participação do relevo cada vez maior na aceleração do processo de perda de solo em função do aumento do valor de LS.

Portanto, para manter o fator topográfico LS igual a 1, é apresentada na

Tabela 3 a classificação da distância entre camalhões para uma determinado greide da estrada, assim sendo o percentual do greide é inversamente proporcional a distância entre os camalhões.

Tabela 3 - Distância entre camalhões, para manter um fator topográfico LS igual 1 conforme o greide da estrada.

Greide (%)	Distância entre camalhões (m)
0,0 a 3,0	600
3,0 a 4,8	150
4,8 a 5,6	90
5,6 a 6,1	70
6,1 a 6,4	60
6,4 a 6,8	50
6,8 a 7,4	40
7,4 a 8,1	30

Constam graficamente na Figura 4, a distância entre camalhões para o greide e fator topográfico LS da rampa da estrada.

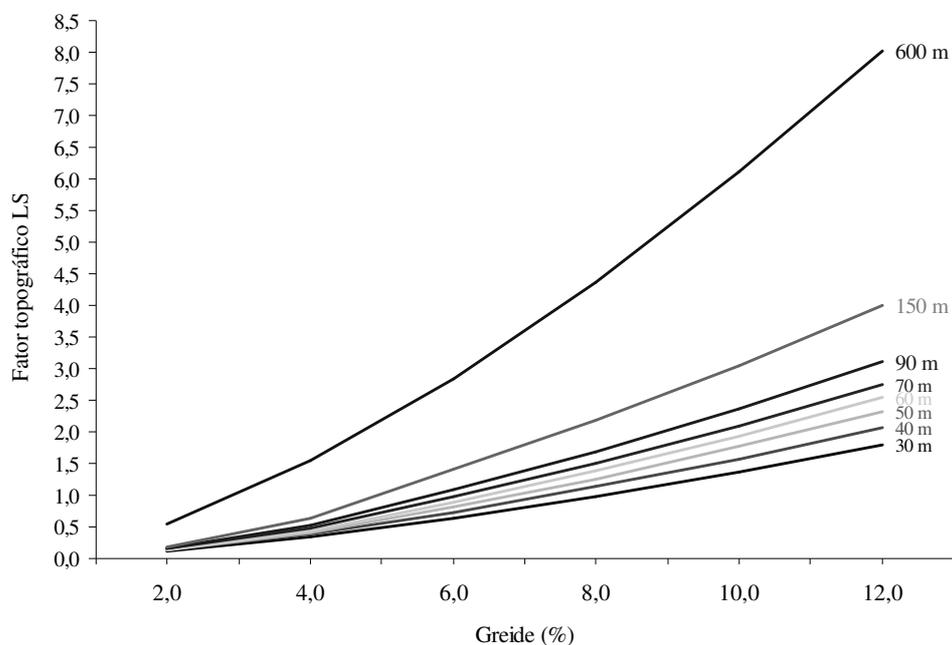


Figura 4 - Distância entre camalhões, segundo o greide e o fator topográfico LS da rampa da estrada.

Para um greide da estrada de 8 % e fator topográfico LS igual a 1, a distância mínima entre camalhões é de 30 m. Acima deste valor, o fator topográfico é maior que 1 tendo assim, um maior risco de erosão.

Na rede viária ortogonal os camalhões existentes estão localizados nas estradas principais e secundárias, enquanto que na rede viária em nível os camalhões localizam-se apenas nos carregadores em pendente. Observou-se que no campo havia maior número de camalhões na rede viária ortogonal do que na rede viária em nível (Tabela 4).

Tabela 4 - Número de camalhões da rede viária ortogonal e em nível.

Rede viária	Camalhões por km	
	Observado	Calculado para fator topográfico LS=1
Ortogonal*	7,5	4,9
Em nível*	3,1	5,7

*Características dos trechos das estradas da rede viária ortogonal e da rede viária em nível, com o número de camalhões observados no campo e do número de camalhões calculado para fator topográfico LS igual a 1.

Na rede viária ortogonal foram observados 7,5 camalhões por km, entretanto pelo valor calculado verificou-se que havia a necessidade de apenas 4,9 camalhões por km para manter fator topográfico LS igual a 1. Isto resultaria em uma economia de 2,6 camalhões por km de estrada.

Já na rede viária em nível foram encontrados 3,1 camalhões por km, sendo que pelo valor calculado verificou-se que havia necessidade de 5,7 camalhões por km para manter fator topográfico igual a 1. Desta forma verificou-se que seria necessária a construção de mais 2,6 camalhões por km de estrada.

Estes resultados confirmam que as duas redes viárias não foram implantadas com o adequado planejamento e com o número de camalhões em função do risco de erosão.

4 CONCLUSÕES

A aplicação do modelo teórico de distância entre camalhões possibilita dimensionar corretamente o número de camalhões necessários para controlar o risco de erosão em estradas não pavimentadas.

Recomenda-se não planejar a construção de estradas florestais para uma greide da rampa maior que 8,1 %, pois não teria como evitar a erosão por meio de camalhões. Neste caso, devem ser adotados meios de controle para se evitar ou mitigar a erosão, como canais de saídas de água entre camalhões ou até mesmo o revestimento primário da pista de rolamento das estradas não pavimentadas.

A falta de planejamento do sistema de drenagem na implantação da rede viária Ortogonal resulta em maior risco de erosão durante o período das chuvas, portanto durante a fase de implantação da rede viária, devem ser adotados recursos como a construção de camalhões e saídas de água para o controle da erosão.

Apesar de o estudo ter sido realizado em redes de estradas florestais, recomenda-se a utilização do modelo teórico da distância entre camalhões nos mais diversos usos públicos e privados, considerando a similaridade das estradas florestais com as estradas não pavimentadas.

5 AGRADECIMENTOS

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à UNESP/FCA de Botucatu-SP pelo apoio à pesquisa científica.

6 REFERÊNCIAS

ANTONANGELO, A. **Avaliação do sistema de informações geográficas GRASS para predição dos riscos de erosão em estradas de uso florestal**. 2004. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

BERTOLINI, D. et al. **Controle de erosão em estradas rurais**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993. 37 p. (Boletim técnico, 207).

BERTONI, J.; LOMBARI NETO, F. **Conservação do solo**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355 p.

DADALTO, G. G.; CARMO FILHO, O. G.; CASTRO, L. L. F. **Captação de águas pluviais das estradas vicinais**. Vitória: EMCAPA, 1990. 22 p. (Documentos, 63).

GARCIA, A. R.; MACHADO, C. C.; SILVA, E. Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 535-542. 2003.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. Planejamento de estradas florestais ambientalmente corretas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 5., 2001, Porto Seguro. **Anais...** Viçosa: SIF, UFV, 2001. p. 28-43.

MEYER, L. D.; MANNERING, J. V. Tillage and land modification for water erosion control. In: American Society Agricultural Engineers. Tillage for greater crop production. St. Joseph, 1967. p. 58-62. (ASAE Publication Proc. 162).

NILL D.; SCHWERTMANN U.; SABEL-KOSCHELLA U.; BER-RD M.; BREWER J. **Soil erosion by water in Africa**. Germany: Deutsche Bibliothek, 1996. 292 p.

OLIVEIRA, M. J. G. Classificação para orientar a manutenção de vias não pavimentadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 10., 2005, Joinville. **Anais...** Joinville: ENACOR, 2005.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. Planejamento de estradas florestais ambientalmente corretas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 5., 2001, Porto Seguro. **Anais...** Viçosa: SIF, UFV, 2001. p. 28-43.

RAMALHO FILHO, A.; OLIVEIRA, R. P.; PEREIRA L. C. Use of geographic information systems in (planning) sustainable land management in Brazil: potentialities and user needs. **ITC Journal**, Pontevedra, p. 295-301, 1997.

SCHACK-KIRCHNER, H. et al. A. Índices topográficos do potencial de erosão em estradas florestais. In: RODRIGUES, R. **Manejo de microbacias hidrográficas: experiências nacionais e internacionais**. Botucatu: FEPAF, 2006, v. 1, p. 188-199.

VERSFELD, D. B. Overland flow on small plots at the Jonkershoek Forestry Research Station. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 119, p. 35-40, 1981.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall losses: a guide to conservation planning**. 1978. 58 p. (UMA Agricultural Handbook, 537).