REVISTA DE GEOGRAFIA

Programa de pós-graduação em geografia da UFPE
www.ufpe.br/revistageografia

EROSÃO HÍDRICA EM ESTRADAS FLORESTAIS: CAUSAS E CONTROLE

Anna Hoffmann Oliveira¹, Marx Leandro Naves Silva², Junior Cesar Avanzi², Mayesse Aparecida da Silva¹, Nilton Curi³

¹ Engenheiras Florestais, Doutorandas, Departamento de Ciência do Solo. Universidade Federal de Lavras/UFLA. ana.ufla@gmail.com; mayesse@gmail.com;

² Engenheiros Agrônomos, D.Sc. Professores, Departamento de Ciência do Solo – Universidade Federal de Lavras/UFLA, Lavras, MG. Bolsistas do CNPq. marx@dcs.ufla.br; niltcuri@dcs.ufla.br.

³ Engenheiro Agrícola, Pós-Doutorando, Departamento de Ciência do Solo – Universidade Federal de Lavras/UFLA, Lavras, MG. Bolsista do CNPq. javanzi@dcs.ufla.br. UEFS. ademariodiaz@gmail.com

Artigo recebido em 24/08/2010 e aceito em 23/11/2010

RESUMO

Em florestas plantadas, a rede viária é a principal responsável pelas perdas de solo e assoreamento dos cursos d'água causados pela erosão hídrica, e desta forma, está diretamente relacionada ao uso sustentável do solo tanto quanto o manejo adotado. Este estudo tem por objetivo abordar as causas da erosão em estradas florestais, bem como formas de monitoramento e de controle que se mostram eficazes e evidentemente necessárias para um desenvolvimento florestal estratégico e sustentável. O monitoramento das perdas de solo por erosão hídrica é imprescindível ao manejo adequado das atividades agrícolas, pois direcionam a escolha e adoção de práticas que visem minimizar a degradação do solo. De forma geral, são obtidos resultados ambientalmente satisfatórios quando há: uma seleção cuidadosa dos caminhos, evitando movimentação desnecessária de solo; a construção de um sistema de drenagem eficiente; a revegetação dos taludes e a manutenção regular das estradas.

Palavras-chave: manejo florestal, perdas de solo, sustentabilidade florestal.

ABSTRACT

In planted forests, the road network is mainly responsible for the soil losses and siltation of streams caused by erosion, and thus is directly related to sustainable land use as far as the management type adopted. This study aims to address the causes of erosion on forest roads, and ways of monitoring and control that are effective and obviously necessary for a strategic and sustainable forest development. The monitoring of soil loss by erosion is essential to proper management of agricultural activities, since they organize the selection and adoption of practices designed to minimize soil degradation. In general, environmentally satisfactory results are obtained when there is: a careful selection of routes, avoiding unnecessary movement of soil, construction of an efficient drainage system, the revegetation of slopes and regular maintenance of roads.

Keywords: forest management, soil losses, forest sustainability.

INTRODUÇÃO

O Brasil possui a segunda maior cobertura florestal do mundo com 478 milhões de hectares, sendo ultrapassado apenas pela Rússia com 809 milhões de hectares (FAO, 2006). Na última década, as áreas de floresta apresentaram elevado crescimento no Brasil, principalmente reflorestamentos de pinus e eucaliptos de empresas florestais. O setor florestal representa quase 5% do Produto Interno Bruto (PIB) e gera dois milhões de empregos diretos e indiretos (IPEF, 2003). Uma estimativa realizada cerca de 20 anos atrás estimou uma malha rodoviária florestal da ordem de 600 mil quilômetros de extensão (MACHADO ; MALINOVSKI, 1986), para 6,6 milhões de hectares reflorestados, podendo este número ter aumentado consideravelmente com o decorrer das novas ampliações das empresas florestais e considerando que o transporte da madeira é feito, principalmente, através do modo rodoviário.

A crescente demanda por matéria-prima do setor madeireiro vem reforçando a importância do incentivo e investimentos em florestas plantadas (ABRAF, 2009). Apesar das grandes transformações tecnológicas ocorridas na silvicultura brasileira e da relevância do transporte para as empresas florestais, são escassos os trabalhos que estudam a otimização do transporte rodoviário da madeira no que se refere a sua relação com aspectos ambientais e a questão da erosão (Antonangelo e Fenner, 2005). Em florestas plantadas, o verdadeiro índice da sustentabilidade do sistema florestal é a variação na qualidade do solo e, portanto, identificar, quantificar e minimizar os efeitos desta atividade sobre o solo torna-se indispensável.

Ao se considerar um manejo adequado do solo, o sistema florestal apresenta reduzidas taxas de erosão quando comparado a outras culturas agrícolas. Contudo, a rede viária necessária à implantação, manutenção, administração, e principalmente às operações de colheita e transporte florestais, constituem um problema ambiental que pode ameaçar a sustentabilidade deste sistema (SANTA'ANNA et al., 2000; GARCIA et al., 2003; MACHADO et al., 2003; CORREA et al., 2007).

No Brasil, as estradas florestais tem representado uma das principais causas da erosão e assoreamento dos cursos d'água. O seu padrão de construção é muito simples, o que as tornam sensíveis às influências climáticas e requerem assim, um manejo cuidadoso e conservação permanente (DIETZ et al., 1983). Como as estradas não possuem nenhum tipo de revestimento primário na superfície de rolamento, o processo erosivo é evidenciado em períodos chuvosos, pois estas funcionam como canais transportando água e sedimentos, assoreando e poluindo mananciais.

O custo do binômio estrada-transporte incide significativamente sobre o valor final da madeira. Os custos de manutenção são altos devido à utilização da motoniveladora sempre após o período chuvoso para manter a pista de rolamento trafegável (BAESSO ; GONÇALVES, 2003;

MACHADO et al., 2005). Quando o padrão de construção se eleva, os custos de construção acompanham este aumento, porém os custos de conservação permanente reduzem.

Tendo em vista que grandes áreas do território brasileiro são cobertas por solos que, em seus estados naturais, não possuem estrutura e capacidade suporte para serem usados em muitas obras de estradas, e ainda, o alto custo de implantação e manutenção destas, a conservação das estradas florestais adquire importância técnica, bem como econômica e ambiental. Neste contexto, estudos relacionados ao monitoramento e controle da erosão em estradas florestais tornam-se requisitos para o desenvolvimento florestal sustentável.

A presente revisão tem por objetivo abordar as causas erosão hídrica em estradas florestais, bem como formas de monitoramento e controle que se mostram eficazes e evidentemente necessárias para um desenvolvimento florestal estratégico e sustentável.

CAUSAS DA EROSIÃO HÍDRICA EM ESTRADAS FLORESTAIS

A erosão e a sedimentação são processos que ocorrem naturalmente. A atividade humana, contudo, vem acelerando este processo além da taxa permitida na natureza, ou seja, a taxa de formação de solo é menor que a quantidade perdida. O processo erosivo é caracterizado pelo desprendimento e transporte de partículas de solo pelo vento ou pela água. Quando este processo cessa, há a deposição das partículas na superfície. No Brasil, localizado em grande parte na região tropical, a erosão hídrica apresenta maior interesse por ser de ocorrência mais frequente, processar-se com maior rapidez e causar grandes prejuízos não só ao setor agrícola, como também a diversas outras atividades econômicas e ao próprio meio ambiente (PIRES ; SOUZA, 2003).

Do total de chuvas que cai sobre o solo uma parte é infiltrada e a outra escorre na superfície. A chuva que infiltra irá penetrar nas camadas do perfil do solo, propiciando a recarga do lençol freático e, conseqüentemente, regularizando o fluxo de água de nascentes e cursos d'água. A chuva, que escoar na superfície, irá causar erosão. Da quantidade de solo perdida, a FAO (1967) admite perdas da ordem de $12,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para solos profundos, permeáveis e bem drenados; $2 \text{ a } 4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para solos rasos ou impermeáveis e, para outros solos, admite perdas intermediárias àqueles limites.

Em florestas, as principais fontes de sedimentos e deslizamentos de terra são as estradas (MEGAHAN ; KETCHESON, 1996; LARSEN ; PARQUES, 1997). A intensidade da erosão está relacionada principalmente a: a) fatores físicos, como tipo de solo, geologia e precipitação; b) densidade de estradas, pois as taxas de erosão são diretamente relacionadas com o comprimento total das mesmas em uma bacia, considerando-se uma ótima densidade entre 30 a 40 m ha^{-1} ; c) padrão e construção da estrada, como largura, inclinação dos barrancos laterais e instalações de

drenagem; e d) localização da estrada, em relação à cursos d'água, solos sensíveis e declividade, sendo que quanto maior a declividade e o comprimento de rampa, maior a velocidade da enxurrada e o processo erosivo (SEIXAS, 1997).

Os maiores impactos são causados durante ou logo após a construção e manutenção de estradas, e na exploração florestal (MACHADO; SOUZA, 1990; FONTANA et al., 2007). Estima-se que mais de 90% da produção de sedimentos em áreas florestais são provenientes da construção e má manutenção de estradas para exploração e baldeio de toras (Neary e Hornbeck, 1994).

A construção das estradas representa a fase de maior impacto para o solo, elevando a taxa natural de erosão em aproximadamente 120 vezes, mesmo em áreas de maior declive não perturbadas (MACHADO; SOUZA, 1990). Durante o primeiro ano após a construção da estrada, a produção de sedimentos é muito alta, considerando que o material não está consolidado, e decresce rapidamente com o tempo.

A maior parte destas estradas é de baixo padrão construtivo, formadas geralmente por material rochoso natural de composição granular sem aglutinantes, onde refinamentos tais como pavimentação, estruturas de drenagem e manutenções periódicas são geralmente mínimos. Este método de construção é mais econômico e satisfaz as necessidades das empresas (PATRIC ; KIDD, 1981).

Entretanto, pelo simples fato de eliminar a cobertura vegetal e impermeabilizar o solo, seja pela compactação ou cobertura asfáltica, as estradas constituem um forte fator predisponente à erosão, sendo sensíveis aos danos causados por uso intenso e condições climáticas (Dietz et al., 1983). Com a faixa central da estrada impermeabilizada, as águas acumulam às margens das rodovias e são direcionadas morro abaixo, concentrando grande força destrutiva e de arraste de solo. Nesta circunstância, são danificados acostamentos, taludes de corte e aterro e, conseqüentemente, a pista.

Há ainda, nas áreas adjacentes, o desenvolvimento intenso da erosão hídrica identificado pela formação de voçorocas. O aporte de sedimentos oriundos destas áreas promove o assoreamento de rios e lagos, comprometendo a qualidade da água e alterando a vida aquática, principalmente pela eutrofização das águas (GARCIA et al., 2003, MORSCHEL et al., 2004; KOLKA ; SMIDT, 2004).

As atividades que podem se aproximar da construção na quantidade e extensão dos distúrbios e podem prolongar os efeitos ambientais para ecossistemas adjacentes, são relativas às de manutenção (LUGO et al., 2000). A operação de nivelamento é necessária à manutenção da estrada e tem grande potencial de produção de sedimentos, sendo a motoniveladora o equipamento utilizado

na sua execução. Fontana et al. (2007) determinaram uma perda média de solo da ordem de 341 Mg ha⁻¹, decorrente do nivelamento da estrada florestal.

Durante a exploração florestal, a colheita pode aumentar a taxa natural de erosão em cerca de quatro vezes (MACHADO ; SOUZA, 1990). O volume de terra perdido em estradas florestais utilizadas para maquinário de arraste é até 80% maior do que em áreas não perturbadas (KOLKA ; SMIDT, 2004). As operações mecanizadas e seu respectivo tráfego, necessários à realização da colheita de madeira, podem causar a degradação da estrutura do solo e estão tão relacionados com o uso sustentável dos mesmos quanto os sistemas de manejo adotados (OLIVEIRA et al., 2004). Isso ocorre por não haver um controle rígido da umidade no momento de realização das operações e ausência de informações a respeito da capacidade de suporte de carga do solo.

Uma pesquisa conduzida nos Estados Unidos apontou um aumento de até mil vezes na produção de sedimentos em relação às taxas naturais de erosão após a construção de estrada em áreas florestais não perturbadas (GONSOIR ; GARDNER, 1971). Na avaliação das perdas de solo provenientes de estradas florestais, Henderson & Witthawatitkul (1984) quantificou perdas médias de 4,96 Mg ha⁻¹, enquanto Kraayenhagen (1981) observou a produção de 6,904 m³ de sedimentos no primeiro ano de construção de uma estrada com 3 km de extensão, ou 10.494 Mg km⁻² da área da microbacia florestada estudada, no leste da Tailândia.

Estudando diferentes coberturas do solo no controle da erosão em taludes de estradas florestais no estado de São Paulo, Souza e Seixas (2001) observaram quantidades de sedimentos da ordem de 53,1 Mg ha⁻¹ em parcelas experimentais de taludes de estrada com 85% de declividade média.

Na região centro leste do estado de Minas Gerais, Oliveira (2006) observou que, entre as faixas de declive as perdas de solo nas estradas florestais variaram de 8,65 Mg seção⁻¹ a 21,17 Mg seção⁻¹, para as faixas de 0% a 4% e superior a 12% de declive, respectivamente. Os valores de erosividade nesta região são considerados críticos, principalmente para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Dessa forma, as elevadas perdas nesses segmentos podem ser atribuídas à alta erosividade da chuva no período, associada à baixa infiltração da água e à drenagem inadequada, que alteram as características de resistência do solo, favorecendo, com isso, elevadas perdas em função da erosão.

Ao avaliar as perdas de solo provenientes de estradas florestais na região sul do Brasil, Corrêa et al. (2007) observaram uma média de 4,65 Mg ha⁻¹ em quinze meses de monitoramento. Ao estimar a erosão em áreas adjacentes, além dos trechos de estradas de uso florestal, Corrêa e Dedeczek (2009) observaram que as perdas de solo provenientes dos trechos de estrada avaliados corresponderam a 99% das perdas totais observadas no experimento.

Os relatos da literatura são enfáticos ao citar o papel das estradas na quantidade de solo perdida em sistemas florestais e consequente sustentabilidade destes. Assim, é importante conhecer formas de monitoramento e controle do processo erosivo nestas circunstâncias.

MONITORAMENTO DA EROSÃO EM ESTRADAS

Modelos preditivos

Considerando a influência das estradas de uso florestal na erosão, torna-se essencial ter meios de prever, com precisão aceitável, a produção de sedimentos nestes locais (ANTONANGELO, 2004). Os modelos constituem ferramentas poderosas na pesquisa e práticas agrícolas, pois se estas determinações usassem apenas resultados experimentais seriam extremamente limitadas tanto em termos de custos e de tempo, como também pela imprevisibilidade da natureza (FERREIRA ; SMITH, 1988).

Modelos preditivos de erosão do solo utilizam expressões matemáticas para representar as relações entre os diversos fatores e processos que ocorrem na paisagem. Estes fatores geralmente incluem topografia do terreno, variáveis meteorológicas, propriedades e uso do solo e funcionalidades da cobertura. Quando estes modelos são aplicados a situações de campo, auxiliam na determinação das práticas conservacionistas e de manejos mais indicados para diferentes cenários (CHAVES, 1996).

A modelagem da erosão é baseada na compreensão das leis físicas e dos processos da paisagem, tais como o escoamento superficial e a formação do solo. A modelagem matemática traduz estes componentes em relacionamentos, descrevendo os processos fundamentais da erosão hídrica: desprendimento, transporte e deposição (JETTEN et al., 2003).

O modelo empírico USLE (Universal Soil Loss Equation) (WISCHMEIER ; SMITH, 1978) e suas derivadas, como a Equação Universal de Perdas do Solo Revisada (RUSLE) e a Equação Universal de Perdas do Solo Modificada (MUSLE), representam modelos empíricos comumente utilizados para predição de perda de solo por erosão (HORSWELL ; QUINN, 2003). Considerada um dos mais eficientes modelos de estimativa de perda de solo utilizados no mundo (SOUZA et al., 2003), a USLE tem sido o modelo de erosão mais amplamente utilizado na predição de perdas de solo e planejamento conservacionista nos mais variados setores da atividade agrícola, pecuária e na silvicultura.

A USLE é composta pelos seguintes fatores: perdas de solo (fator A - expresso em $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), erosividade da chuva (fator R - expresso em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$), erodibilidade do solo (fator K - expresso em $\text{ha Mg h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$), fator topográfico (fator LS - adimensional) que considera a declividade (fator S - expresso em %) e o comprimento de rampa do solo (fator L -

expresso em m), índice de cobertura vegetal (fator C – adimensional) e práticas conservacionistas (fator P – adimensional) e, em muitos casos, o fator C pode ser determinado em associação com fator P. A tolerância de perdas de solo (fator T – expresso em $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) é utilizada como um valor de referência para as perdas de solo em várias partes do mundo, onde valores abaixo desta são indicativos da adequação do sistema de manejo no contexto da erosão hídrica (WISCHMEIER ; SMITH, 1978).

Os estudos qualitativos sobre erosão são válidos para um zoneamento inicial de áreas suscetíveis a esse fenômeno. Entretanto, a não-quantificação das perdas de solo impossibilita uma análise mais aprofundada sobre o grau de degradação por erosão e o seu controle. Além disso, análises puramente qualitativas não permitem comparações de diferentes cenários de planejamento conservacionista, nem fornecem dados para estudos de sedimentação (CHAVES, 1996).

Parcelas

O monitoramento das perdas de solo por erosão hídrica, por comparação com os limites estabelecidos pela tolerância de perdas, é imprescindível ao manejo adequado das atividades agrícolas, com adoção de práticas que visem minimizar a degradação do solo.

O uso de parcelas experimentais permite o trabalho em condições controladas em termos de limites do terreno, de declividade e do tipo de solo, englobando os efeitos do uso e manejo dos solos, que permitem o monitoramento do escoamento superficial e da perda de solo. As parcelas tem sido utilizadas com diferentes dimensões dependendo do objetivo de cada trabalho. Em áreas agrícolas os estudos voltados para erosão utilizam geralmente a dimensão de 22m x 4m (WISCHMEIER ; SMITH, 1978).

As parcelas são localizadas no sentido do declive, delimitadas por folhas de aço parcialmente dentro do solo, entre 15 e 20 cm de profundidade, permanecendo de 10 a 15 cm acima da superfície. Na extremidade inferior das parcelas, são colocadas calhas coletoras para condução da enxurrada até dois tanques coletores, sendo o primeiro tanque de sedimentação com capacidade de 250 L. O excedente da enxurrada passa por um divisor do tipo Geib, em que uma parte da enxurrada é encaminhada para o segundo tanque com capacidade de 500 L (COGO, 1978 a, b).

A utilização de parcelas de monitoramento tem custo-benefício positivo, pois é um método sensível a registrar a perturbação tornando-se verificador satisfatório da erosão através de medidas que podem ser quantitativas ou qualitativas sem equipamentos ou métodos complicados. A análise das substâncias e elementos transportados no material erodido é um método qualitativo. A determinação quantitativa ocorre quando a mensuração do volume de material erodido é realizada de forma direta, principalmente através de parcelas experimentais.

CONTROLE DA EROSÃO EM ESTRADAS FLORESTAIS

A solução dos problemas de erosão oriunda das estradas florestais geralmente se baseia nos princípios da prevenção, os quais contemplam planejamento e construção criteriosos da estrada florestal, problemas potenciais e medidas preventivas como parte normal dos procedimentos de construção da estrada; e da correção, onde há o reparo de uma situação que originalmente não foi considerada no planejamento. A prevenção é o melhor caminho, por ser mais eficiente (MACHADO ; SOUZA, 1990) e bem mais econômica que as medidas necessárias à recuperação, quando possível, de avarias causadas pela falta de um gerenciamento adequado.

As medidas preventivas podem ser realizadas através da minimização da extensão total das estradas, da locação das estradas em relação à topografia e aos solos, da minimização das superfícies expostas da estrada através do alinhamento apropriado e da instalação adequada de bueiros e outras obras (FAO, 1989).

As atividades de conservação são concentradas no controle das erosões, da vegetação que toma taludes e invade as estradas, na manutenção do pavimento e das obras de drenagem, e nos problemas causados pelas quedas de pedras e escorregamentos que atingem as pistas de rolamento (BELLIA et al., 2005).

Planejamento

Em geral, o planejamento é feito de tal forma que, por ocasião da implantação sejam construídas estradas primárias, necessárias nos tratos culturais da floresta e, por ocasião da colheita, haja a construção complementar de estradas secundárias e trilhas ou ramais, com finalidades respectivas de dividir a floresta em áreas de exploração e servir de caminhos para o trânsito de máquinas florestais dentro da mesma. O arraste mecanizado é influenciado diretamente pela distribuição e densidade da rede de estradas secundárias. Conforme as condições do terreno e a estrutura da floresta, é possível determinar o ponto ótimo entre densidade de estradas e distâncias de arraste

A rede viária florestal é a interação das estradas primárias, secundárias, trilhas e ramais, que permite efetuar a colheita de madeira sem causar danos ao abastecimento. O recomendado é que, no mínimo, 6% da área total do empreendimento florestal seja reservada para estradas, sendo que, de forma geral quanto maior a densidade de estradas, menor a distância de extração (SANTA'ANNA et al., 2000).

São consideradas informações básicas para o planejamento o conhecimento da topografia, geologia, condições do solo e hidrologia do terreno; a floresta e o tipo de manejo da mesma; o clima da região, principalmente precipitação; e o tráfego (SANT'ANNA et al., 2000).

A implantação de estradas florestais em áreas instáveis ou com elevado índice de erosão deve ser evitada. É fundamental, ainda, um desenho adequado da plataforma, infra-estrutura de drenagem e revestimento primário constituído por material de qualidade e espessura suficiente para suportar as altas cargas induzidas pelo tráfego (BAESSO ; GONÇALVES, 2003).

As taxas de erosão estão diretamente relacionadas com o comprimento total das estradas de uma bacia. Assim, o princípio básico de proteção e controle de danos ambientais nestas obras é a redução máxima da densidade de estradas e da faixa terraplanada, visando diminuir a perda de solo superficial. Um planejamento adequado contempla a abertura de estradas em densidade tal que não represente impacto ao povoamento e garanta a sustentabilidade do manejo aplicado (HENDRISON, 1989; FREITAS ; MACHADO, 2001), sendo 30 a 40 m ha⁻¹ considerada uma densidade ótima (SEIXAS, 1997).

Se a densidade for excessiva, os custos de construção das estradas que dão acesso aos compartimentos de exploração serão elevados, ou no caso de uma construção menor do que o ideal, as estradas irão sofrer danos exagerados por arraste e custos elevados da operação, de qualquer modo aumentando o impacto no sistema e os custos totais de extração da madeira.

O planejamento para construção das estradas florestais deve visar o menor movimento de terra e impacto no solo e, por conseguinte, menor dano, padrões de segurança e baixo custo. As estradas normalmente devem seguir os divisores de água com solos com capacidade suporte ideal. O planejamento, locação e construção deverão considerar então: a seleção econômica do padrão de estradas; parâmetros técnicos; inclinação do terreno; cálculo da drenagem necessária; faixas de segurança; mínimo movimento de terra nos cortes e aterros; largura máxima; cálculo do desenvolvimento das curvas verticais e horizontais; perfis longitudinais e transversais adequados (BRAZ et al., 1998).

Considerados tais fatores, deve-se proceder a uma distribuição racional dos caminhos, uma prática básica na conservação do solo e da água já que muitas medidas se fundamentam na correta distribuição das estradas. A “racionalização dos caminhos” significa colocá-los ao máximo, próximo do contorno, ou seja, em nível. Assim, Pires e Souza (2003) recomendam a locação e construção de estradas e carregadores principais em nível, com largura de 5 a 6 m e uma ligeira inclinação (0,05%) no sentido do barranco. Os carregadores que fazem a ligação entre os nivelados (carregadores em pendente) devem ser inclinados e desencontrados, com 3 a 4 m de largura, evitando que estes carregadores, dispostos sem interrupção, formem uma rampa muito comprida que aumentaria a velocidade e o volume da enxurrada, favorecendo a erosão dentro do carregador.

O manual de gestão ambiental de estradas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) recomenda que todos os pontos de descarga no terreno natural recebam

proteções contra erosão, através da disposição de brita, grama ou caixas especiais de dissipação de energia (DNIT, 2005). Nos casos em que houver risco de transporte de sedimentos, deverão ser previstas caixas de deposição de sólidos, as quais deverão receber manutenção periódica.

De acordo com Klassen (2006), um bom manejo da água deve ser prioridade na implantação das estradas florestais. A água que escorre dos carregadores em pendente deve ser desviada para bacias de captação ou caixas de retenção devidamente dimensionadas. Pode ser ainda retirada para os terraços, para um lado, ou os dois lados do canal, por meio de pequenos canais de desvio, se constituindo numa importante medida de controle da erosão. O revestimento dos carregadores com vegetação rasteira também é uma medida necessária à devida conservação das estradas.

Bacias de captação de água

O comprimento de rampa é um dos mais importantes fatores da erosão do solo e por isso, as águas pluviais constituem a principal causa de erosão nas estradas. O volume de água de chuva perdido numa estrada de 100 metros de comprimento por 6 metros de largura pode chegar a 300.000 litros ano⁻¹, considerando uma precipitação anual de 1000 mm e 50% de perda por escoamento superficial (FREITAS ; MACHADO, 2001).

As bacias de captação e retenção de água dividem a estrada em segmentos, eliminando seu efeito destruidor. Além disso, quando estas águas acumulam em locais determinados sua penetração no solo é forçada, favorecendo o abastecimento do lençol freático e, conseqüentemente, alimentando fontes e nascentes naturais.

As bacias de captação de água são locadas tecnicamente em função do declive, da área de exposição, do tipo de solo e da precipitação local (PIRES ; SOUZA, 2003). Recomenda-se que sejam implantadas em estradas com declividade máxima de 20% (BERTOLINI, 1993), pois acima desse limite a construção torna-se dispendiosa e compromete a segurança da estrutura.

A declividade média da estrada determina variações na velocidade da água motivo pelo qual o espaçamento entre bacias deve sofrer reduções, diminuindo a capacidade erosiva da água e aumentando a segurança do sistema. A definição do espaçamento entre bacias e suas dimensões (raio) será função dos seguintes parâmetros: precipitação máxima em 24 horas, largura da estrada, tipo de solo e declividade do terreno (BERTOLINI, 1993; PIRES ; SOUZA, 2003).

O volume de água captada pela estrada será calculado considerando uma seção de comprimento C e largura L, e cuja altura I (lâmina d'água) será baseada em uma precipitação máxima em 24 horas, em metros. Esta precipitação varia em função da estimativa da vida útil que se pretende atribuir à bacia, e é encontrada em mapas referentes às curvas de precipitação máxima para períodos de retorno de 5, 10 e 25 anos. Julga-se 10 anos uma boa indicação para conferir segurança e economia à implantação do sistema (PIRES ; SOUZA, 2003).

O tipo de solo também interfere na decisão sobre a construção das bacias, sendo indicadas para solos que apresentem permeabilidade rápida a moderada, condição favorável à infiltração de água.

Estabilização de taludes

A cobertura vegetal é um meio simples e barato de estabilizar as superfícies de solo desprotegido. Assim, o objetivo das técnicas de estabilização é o estabelecimento, o mais rápido possível, de uma densa vegetação a fim de minimizar as fontes de sedimento. O sistema radicular une as partículas do solo em agregados, contribuindo para aumentar a estabilidade das encostas, além de contribuir para manter maiores taxas de infiltração e umidade do solo.

Algumas técnicas são recomendadas para serem utilizadas isoladamente ou em conjunto: revestimento com grama; plantio de mudas de espécies arbustivas e arbóreas (de preferência espécies nativas da região e com bom desenvolvimento do sistema radicular); uso de troncos ou estacas de madeira; uso de pequenos patamares (degraus); uso de pedras (SANT'ANNA et al., 2000). As plantas nativas geralmente requerem menores despesas e manutenção e são visualmente harmoniosas com a paisagem, embora muitas espécies exóticas sejam cultivadas especificamente para o controle da erosão, podendo ser igualmente satisfatórias.

A revegetação dos taludes em áreas susceptíveis aos processos erosivos é recomendada já que o tráfego pesado nestas estradas acarreta a desestruturação dos taludes, proporcionando assim, a formação de rachaduras no solo que servem de caminho para a descida das águas de chuva. Em virtude desse processo ocorre um agravamento dos fenômenos erosivos devido a forte energia das águas nestes locais (SANT'ANNA et al., 2000; FREITAS ; MACHADO, 2001).

Este tráfego acarreta a impermeabilização de grande parte da malha viária, proporcionando um aumento do escoamento superficial das águas da chuva e por conseqüência, uma diminuição no abastecimento do lençol freático (FREITAS ; MACHADO, 2001). Dessa forma, promover a revegetação dos taludes em áreas próximas de bacias é uma medida que também reduziria os processos de turbidez e assoreamento dos canais de drenagem presentes ao longo das estradas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em geral, a construção de estradas é a principal causa da degradação ambiental em florestas, por isso são diretamente associadas à sustentabilidade deste sistema. Estas obras podem produzir diversos efeitos negativos sobre a estabilidade do solo, regime de água e qualidade da paisagem.

O monitoramento e respectiva adoção de métodos de controle das perdas de solo e água por erosão nas estradas mostram-se simples e eficazes, de custo benefício positivo, sendo que as

medidas preventivas de controle são bem mais úteis e menos onerosas que as medidas corretivas, acentuando, portanto a viabilidade de aplicação das mesmas. Tais técnicas assumem importância fundamental na minimização da degradação do solo e garantem a conservação e sustentabilidade do uso deste recurso favorecendo o equilíbrio do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ANTONANGELO, A. Avaliação do sistema de informações geográficas GRASS para predição dos riscos de erosão em estradas de uso florestal. (Tese). Universidade Estadual de São Paulo, 2004.

ANTONANGELO, A.; FENNER, P. T. Identificação dos riscos de erosão em estradas de uso florestal através do critério do fator topográfico LS. **Energ. Agric.**, Botucatu, 20:1-20, 2005.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2009: ano base 2008**. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 14 jun. 2010.

BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. R. **Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção**. Florianópolis, Departamento Estadual de Infra-Estrutura, 2003. 236 p.

BELLIA, V.; PARENTE, A.; DIAS, R. R.; MENEZES, L. A.; DELORENCI, C. C. F. **Manual de Gestão Ambiental de Estradas - DNIT**. Disponível em: Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/menu/meio_ambiente/manuais_ambientais>. Acesso em: 20 mai. 2009.

BERTOLINI, D. **Controle de erosão em estradas rurais**. Campinas: **Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI**, Boletim Técnico, 207, 1993. 37p. 1993.

BRAZ, E. M.; OLIVEIRA, M. V. N.; ARAÚJO, H. J. B.; MIRANDA, E. M. **Plano de exploração sob critérios de manejo florestal de baixo impacto**. Embrapa-CPAF/AC, Circular Técnica, 27, 1998. 20p. 1998.

CHAVES, H. M. L. **Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro**. In: ALVAREZ V. H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. (Eds.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS / UFV / DPS, 1996, p. 731-750.

COGO, N. P. **Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de solo por erosão em condições de chuva natural: I: sugestões gerais, medição de volume, amostragem e quantidade de solo e água da enxurras – 1ª aproximação**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, EMBRAPA/CNPT, 1978a. p. 75-97. 1978.

COGO, N. P. **Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de solo por erosão em condições de chuva natural: II: alguns conceitos básicos e modelos de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água - 1º aproximação**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, EMBRAPA/CNPT, 1978b. p. 99-10. 1978.

- CORRÊA, C. M. C., ROLOFF, G., SILVA, I. C.. Erosão real e estimada através da RUSLE em estradas florestais, em duas condições de solo e relevo e quatro perfis de solo. **Sci. For.**, 76: 57-66, 2007.
- CORRÊA, C. M. C.; DEDECEK, R. A. **Erosão real e estimada através da rusle em estradas de uso florestais, em condições de relevo plano a suave ondulado.** *Floresta*, 39:381-391, 2009.
- DIETZ, P.; GRAMMEL, R.; MALINOVSKI, J. R. **Parâmetros da rede viária e sua otimização** In: **Curso de atualização sobre sistemas de exploração e transporte florestal**, 4., 1983, Curitiba, 1983. Anais. Curitiba, UFPR / Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1983. p. 2-35.
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Instruções de proteção ambiental das faixas de domínio e lindeiras das rodovias federais. 2. ed. Rio de Janeiro**, 2005. 161p. (IPR. Publ., 713). Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/menu/meio_ambiente/manuais_ambientais>. Acesso em: 20 de maio 2009.
- FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **La erosión del suelo por el agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo.** Roma, 1967. 207p.
- FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **Watershed management field manual: road design and construction in sensitive Watersheds.** Rome, 1989. 218p.
- FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **FAO forestry newsroom.** 2006. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/news/48685/en/>>. Acesso em: 20 ago. 2010.
- FERREIRA, V. A.; SMITH, R. E. **The limited physical basis of physically based hydrologic models**, In: ASAE. (Ed.). Modeling agricultural, forest and rangeland hydrology. Proc. of the 1988 Int. Symp. Chicago, 1988, p. 10-18.
- FONTANA, C. R.; LIMA, W. P.; FERRAZ, S. F. B. Avaliação da remoção de sedimentos pela operação de nivelamento de estradas florestais. **Sci. For.**, Piracicaba, 76:103-109, 2007.
- FREITAS, L. C.; MACHADO, C. C. Impactos ambientais gerados pelas estradas florestais. **R. Madeira**, v. 11, n. 59, 2001.
- GARCIA, A. R.; MACHADO, C.C.; SILVA, E.; SOUZA, A. P.; PEREIRA, R. S. Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. **R. Árvore**, 27:535-542, 2003.
- GONSOIR, M. J.; GARDNER, R. B. **Investigation of Slope Failures in the Idaho Batholith.** USDA Forest Service INT Research Paper, Washington, 97:1-34, 1971.
- HENDERSON, G.S.; WITTHAWATCHUTIKUL, P. **The effect of road construction on sedimentation in a forested catchment at Rayong, Thailand.** In: O'LOUGHLIN, C.L.; PEARCE, A.J. (Editors), Proceedings of a Symposium on Effects of Forest Land Use on Erosion and Slope Stability, East-West Center, Honolulu, Hawaii, p. 247–253, 1984.

HENDRISON, J. **Controlled logging in managed tropical rain forests in Suriname**. Wageningen: Agricultural University, 1989. 204p. 1989.

HORSWELL, M.; QUINN, N. **Minimising sediment delivery to rivers: a spatial modelling approach developed for commercial forestry**. Diffuse pollution conference Dublin, 2003. 5 Aforestry. 2003.

IPEF - INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Ciência e tecnologia no setor florestal brasileiro: diagnóstico, prioridades e modelo de financiamento**. 2003. Disponível em: < www.ipef.br/publicacoes/ipefnoticias/ipefnoticias161.pdf >. Acesso em: 02 jul. 2010.

JETTEN, V.; GOVERS, G.; HESSEL, R. Erosion models: quality and spatial predictions. **Hydrolog. Process.**, 17: 887-900, 2003.

KLASSEN, A. **Planning, Location, Survey, Construction & Maintenance for Low-Impact Forest Roads. Indonésia: Tropical Forest Foundation**. 2006. 69p.

KOLKA, R. K.; SMIDT, M. F. Effects of forest road amelioration techniques on soil bulk density, surface runoff, sediment transport, soil moisture and seedling growth. **Forest Ecol. Manage.**, 202:313–323, 2004.

KRAAYENHAGEN, J. **Conservation handbook (comp.)**, 1981, 348 p. 1981.

LARSEN, M. C.; PARKS, J. E. **How Wide Is a Road?** The Association of Roads and Mass-wasting in a Forested Montane Environment. **Earth Surf. Process. Landforms**, 22:835-848, 1997.

LUGO, A. E.; GUCINSKI, H. Function, effects, and management of forest roads. **Forest Ecol. Manage.**, 33:249-262, 2000.

MACHADO, C. C., GARCIA, A. R., SILVA, E., FONTES, A. M. Comparação de taxas de erosão em estradas florestais estimadas pelo modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) modificado em relação a medições experimentais. **R. Árvore**, v.27, p.295-300, 2003.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. **Rede viária florestal**. Curitiba, UFPr/FUPEF, 1986. 157 p.

MACHADO, C. C., LOPES, E. S., PEREIRA, R. S., PIRES, J. M. M. Caracterização geotécnica de solos para estradas florestais: o caso da Fazenda Monte Alegre da Duratex S.A. **Cerne**, 11:84-89, 2005.

MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. **Impacto ambiental das estradas florestais: causas e controle**. Viçosa, SIF, 1990. p. 1-12 (Boletim Técnico, 1).

MEGAHAN, W. F.; KETCHESON, G. L. Predicting downslope travel of granitic sediments from forest roads in Idaho. **Water Resour Bull**, 32:371-382, 1996.

MORSCHER, J.; FOX, D. M.; BRUNO, J. F. Limiting sediment deposition on roadways: topographic controls on vulnerable roads and cost analysis of planting grass buffer strips. **Environ. Sci. Policy**, 7:39-45, 2004.

- NEARY, D. G.; HORNBECK, J. W. **Impacts of harvesting and associated practices on off-site environmental quality.** In: NEARY, D.G.; HORNBECK, J.W. Impacts of forest harvesting on long-term site productivity. Londres, Chapman and Hall, p.81-119, 1994.
- OLIVEIRA, E. D. J.; DIAS, M. S. J.; GOMES, A. N.; ANDRADE, S. C.; AZEVEDO, M. R. Estudos prévios previnem compactação do solo. **Revista da Madeira**, n. 82, 2004. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 07 jul. 2010.
- OLIVEIRA, P. F. Erosão hídrica em áreas florestais no vale do rio Doce, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais. Universidade Federal de Lavras, 2006. 105p. (Dissertação)
- PATRIC, J.H.; KIDD, W. J. JR. **Erosion caused by low-cost roads in the Eastern Forest.** In: Forest regeneration (Proceedings of the ASAE Symposium on Engineering Systems for Forest Regeneration), ASAE Publication 10-81. St. Joseph, MI: ASAE: 22-28. 1981.
- PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. **Práticas Mecânicas de conservação do solo e da água.** Viçosa: Suprema Gráfica, 2003. 176p. 2003.
- SANTA'ANNA, C. M.; MELLO, J. M.; MELLO, O. M. T. **Estradas Florestais.** Lavras, UFLA, 2000. 37p. 2000.
- SEIXAS, F. **Potencial de danos dos sistemas de colheita de madeira no solo e nas cepas.** Série Técnica IPEF, Piracicaba, n.30, p.63–78, 1997.
- SOUZA, C. R.; SEIXAS, F. Avaliação de diferentes coberturas do solo no controle da erosão em taludes de estradas florestais. *Sci. For.*, 60:45-51, 2001.
- SOUZA, C. K.; MARQUES JUNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal “SP”. **R. Bras. Ci. Solo.**, 27:1067-1074, 2003.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning.** Washington, United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537). 1978.