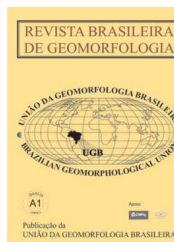


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 16, nº 4 (2015)



É POSSÍVEL REDUZIR A TURBIDEZ DA ÁGUA EM BACIA RURAL POR MEIO DE IMPLANTAÇÃO DE CAIXAS DE INFILTRAÇÃO?

IS IT POSSIBLE TO REDUCE WATER TURBIDITY IN RURAL BASIN THROUGH INSTALLATION OF INFILTRATION BOXES?

Márcia Cristina da Cunha

*Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná
Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, s/n, Curitiba, Paraná, CEP: 81531-980, Brasil
Email: marcia1cunha@yahoo.com.br*

Edivaldo Lopes Thomaz

*Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná
Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, Guarapuava, Paraná, CEP: 85040-400, Brasil
Email: thomaz@unicentro.br*

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
07/04/2015
Data de Aprovação:
14/10/2015

Palavras-chave:

Uso da Terra, Conservação de Água, Erosão em Estradas.

Keywords:

Land Use, Water Conservation, Road Erosion.

Resumo:

As estradas rurais são fontes de sedimentos em eventos pluviométricos causando a turbidez em canais fluviais. Uma técnica comum em muitos países para mitigar esse problema é a implantação de caixas de infiltração. Portanto o presente trabalho teve por objetivo analisar a redução de turbidez após a implantação de caixas de infiltração como medida de controle de sedimento em estradas rurais da Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava, Paraná, Brasil. No estudo empregou-se a manipulação dos dados de chuva, vazão e turbidez. Esses dados foram disponibilizados em meio digital pela estação pluviométrica (chuva), estação fluviométrica (vazão) e Companhia de Saneamento do Paraná (turbidez), instaladas no município de Guarapuava. O período analisado foi de 6 anos (2000-2005), sendo que os anos 2000, 2001 e 2002 compreende períodos antes da implantação das caixas de infiltração e os anos 2003, 2004 e 2005 compreende períodos pós implantação das caixas de infiltração. Por meios dos resultados obtidos, verificou-se que houve uma redução de turbidez de 61,5% depois da implantação das medidas de controle de sedimentos. Concluímos que essa redução na turbidez pode ser um indicativo do efeito positivo das caixas de infiltração diminuindo também o custo de tratamento de água que abastece o município segundo informações fornecidas pela Companhia de Saneamento do Paraná, SANEPAR. Contudo, a falta de manutenção das caixas de infiltração resultou na perda gradual da sua eficácia no controle do aporte de sedimentos aos corpos hídricos.

Abstract:

Rural roads are sources of sediments in rainfall events causing turbidity in fluvial waterways. A common technique in many countries to mitigate this problem is the installation of infiltration boxes. In this context, the present study aimed to analyze the reduction of turbidity after installation of infiltration boxes as a measure of sediment control in unpaved roads of the Pedras River basin, municipality of Guarapuava, State of Paraná, Brazil. In the study we used the manipulation of rainfall, flow and turbidity data. These data were made available in digital form by the rainfall station (rainfall), fluviometric station (flow) and the Paraná Sanitation Company (turbidity), located in the municipality of Guarapuava. The study period was 6 years (2000-2005), 2000, 2001 and 2002 include periods prior to the implementation of infiltration boxes and 2003, 2004 and 2005 comprise the period after the implementation of infiltration boxes. Through the results, it was found a reduction in turbidity by 61,5% after the installation of measures to control sediments. We conclude that this reduction in turbidity may indicate the positive effect of infiltration boxes also reducing the cost of water treatment that supplies the municipality, according to information provided by the Sanitation Company of Paraná, SANEPAR. However, the lack of maintenance of retention boxes resulted in the gradual loss of its effectiveness in controlling the input of sediments in water bodies.

Introdução

A erosão e a produção de sedimentos em estradas rurais são um problema comum em muitos países. Segundo Lane *et al.*, (2006) a proteção da qualidade da água requer que os sedimentos gerados a partir de estradas rurais e também cultivos em encostas, dos mais variados graus de inclinação não sejam transferidos aos rios. Fu *et al.*, (2010) apontam como consequência do aumento das estradas as alterações hidrogeomorfológicas que se estendem muito além da pequena porção de terra que elas ocupam.

Estudos sobre erosão em estradas rurais têm aumentado nas últimas décadas (COPSTEAD, 1997; LUCE e WEMPLE, 2001; RAMOS-SHARRÓN e MACDONALD, 2007; FU *et al.*, 2010; SIDLE e ZIEGLER, 2012; WEMPLE, 2013). Estes estudos ainda são raros no Brasil, porém, são diversificados: traçado e localização de estradas (BAESSO e GONÇALVES, 2003), tipo de revestimento da estrada (ODA, 2007), aplicação de geomantas no controle de erosão em talude de estradas (FERNANDES *et al.*, 2009), alteração de densidade de drenagem, transferência de sedimento para canal fluvial, medidas de controle de erosão (THOMAZ e MELQUIADES, 2009; CUNHA, 2011; CUNHA, *et al.*, 2013; THOMAZ *et al.*, 2014).

As estradas rurais apresentam grande importância em nosso país, pois fazem a ligação entre áreas rurais, povoados e vilarejos, e permitem que a população tenha acesso aos serviços básicos disponibilizados nas áreas urbanas, como saúde, educação, lazer e trabalho, servindo também como base para o escoamento da produção agrícola. Entretanto, as estradas rurais são

importantes na produção de sedimento, facilitando também a transferência dele para o rio (conectividade) o que provoca a turbidez da água. Contudo, esta temática vem recebendo pouca atenção em estudos de erosão e conservação de solo e água no território brasileiro. Portanto, é necessário o entendimento de processos hidrológicos e geomorfológicos em estradas rurais.

A rede viária do Brasil é constituída em sua maioria por estradas rurais que comumente não são pavimentadas e os impactos são ainda mais comuns nas estradas na região sul do país, particularmente em terrenos dissecados como na Região de Guarapuava, estado do Paraná. Fu *et al.*, (2010) destacam que o tipo do leito das estradas e o número de vezes que cortam os rios são fundamentais para o escoamento superficial e a produção da turbidez. Para amenizar esses impactos sem muitos recursos disponíveis, torna-se comum a prática de implantação de caixas de infiltração para solucionar os problemas presentes nas estradas rurais e áreas adjacentes.

Portanto, para solucionar esses problemas em estradas rurais o governo local optou pela técnica de implantação de caixas de infiltração na Bacia do Rio das Pedras, área de manancial de abastecimento do município de Guarapuava, estado do Paraná. As caixas de infiltração são trincheiras instaladas nas laterais das estradas com o objetivo de reter água das chuvas que escoam carregando sedimentos produzidos principalmente no leito destas estradas. Assim o objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia das caixas de infiltração na redução da entrada de sedimentos nos canais fluviais presentes na Bacia do Rio das Pedras e, por conseguinte,

na redução de turbidez das águas superficiais do Rio das Pedras.

1. Área de Estudo

A Bacia do Rio das Pedras possui área de aproximadamente 330 km², localiza-se no município de Guarapuava (Figura 1). A Bacia é a área de captação de água que abastece o município. A litologia predominante é de rochas básicas da Formação Serra Geral e ocorrem na Bacia ocorrem pelo menos quatro tipologias acerca da cobertura superficial: Latossolo, Cambissolo, Neossolo (litólico) e Gleissolo (hidromórfico) (EMBRAPA,

2013), sendo caracterizada geomorfologicamente por encostas íngremes.

O clima da região está sob o domínio da zona extratropical, o que resulta em temperaturas com caráter mesotérmico, temperaturas anuais médias entre 16° e 20°C, inverno frio e verão amenizado pelas altitudes. A pluviosidade mostra-se bem distribuída ao longo do ano, com precipitações médias anuais em torno de 1.961 mm (THOMAZ e VESTENA, 2003). O uso da terra, de modo geral é diversificado, envolvendo atividades relacionadas à agricultura, à pecuária, à indústria, ao florestamento/reflorestamento, ocorrendo ainda mata, campo, capoeira entre outras.

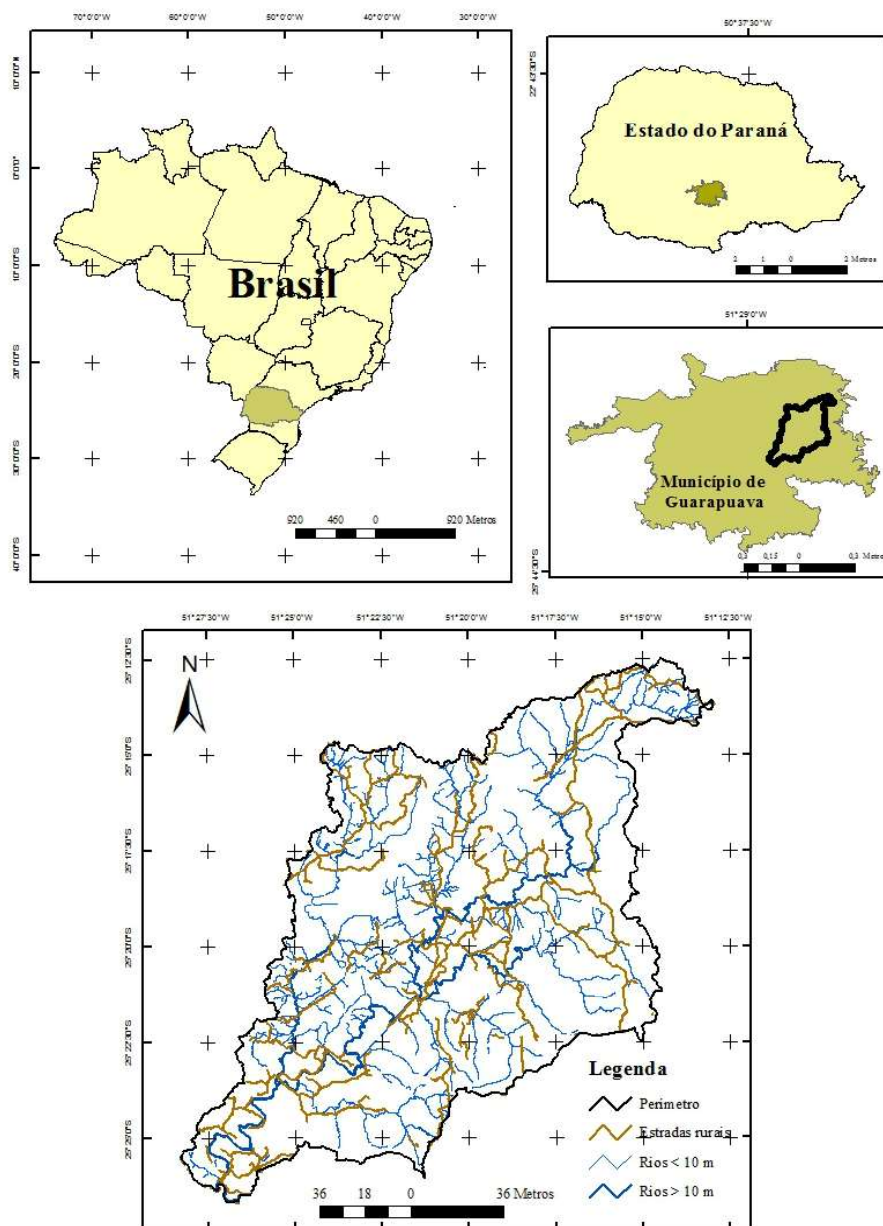


Figura 1 - Localização da Bacia do Rio das Pedras em relação ao município de Guarapuava. Elaborado pelos autores (2015).

2. Métodos

2.1 Estradas Rurais e Caixas de Infiltração

No ano de 2003, foram implantadas caixas de infiltração nas laterais de estradas rurais da Bacia do Rio das Pedras para diminuir o aporte de água e sedimentos produzidos por processos erosivos presentes, sobretudo das mesmas estradas. Para tanto analisou-se séries históricas de precipitação, vazão e turbidez de seis anos (2000-2005), sendo três anos antes e três anos depois da implantação das caixas de infiltração. Esse período analisado teve por objetivo verificar a mudança no processo de chuva e vazão em dois momentos, no período antes da implantação e no período pós implantação das caixas de infiltração.

A Prefeitura Municipal de Guarapuava selecionou ao todo 57 trechos de estradas rurais para implantar as caixas de infiltração. Esses trechos foram selecionados porque as estradas rurais nesses locais foram consideradas as que conduzem maior volume de água e sedimentos para os cursos d'água e é também onde as estradas cruzam mais vezes os canais fluviais. Optou-se por mensurar dois trechos, um com alta densidade de caixas e outro trecho com menor quantidade das caixas. Ressalta-se que esses dois trechos tem características físico-ambientais semelhantes.

Estimou-se, a partir da largura média da estrada e comprimento e a área de contribuição de cada caixa. Foram realizados também registros fotográficos para caracterizar as caixas de infiltração e permitir uma melhor avaliação de suas condições. O volume de solo removido para a implantação mesmas foi calculado com as dimensões mínimas de cada caixa (2,00 X 2,00 X 3,00 m) com remoção média de 12,00 m³ de solo por caixa. Todo solo removido para implantação das caixas foi colocado em bota-fora determinado pela fiscalização municipal.

2.2 Cruzamento das Estradas com os Rios

Para cálculo do número de cruzamento de canais fluviais com as estradas rurais foram selecionados dez pontos de controle aleatoriamente ao longo da Bacia, para estimar o número total de cruzamentos em toda área da mesma. Os pontos selecionados para contagem tiveram como objetivo atingir todas as unidades da Bacia, alta, média e baixa vertente. A partir dessas unidades selecionadas foram avaliados a proximidade dos canais fluviais com as estradas, largura média das estradas, presença de ravinamento, altura dos cortes de estradas por ventura

presentes, disponibilidade de material para transporte entre outras características importantes na obtenção dos resultados (CUNHA, 2011).

2.3 Relação entre a Precipitação, Vazão e Turbidez

A precipitação aqui se refere a média total mensal dos anos analisados. Os dados de precipitação utilizados foram da estação pluviométrica localizada a 25°27'00" latitude sul e 51°27'00" longitude oeste, a 950 m de altitude, identificada pelo Código da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) número 02551000, monitorada pela Agência Nacional de Águas (ANA), série entre janeiro de 2000 a dezembro de 2005, instalada na Bacia do Rio das Pedras.

A vazão compreendeu a média mensal do período avaliado. Os dados de vazão utilizados foram os da estação fluviométrica localizada na Estação de Tratamento de Água (ETA) Guarapuava, localizada a 25°23'52" latitude sul e 51°26'09" longitude oeste, a 950 m de altitude, código ANEEL, número 65809000, monitorada pela ANA, série entre janeiro de 2000 a dezembro de 2005, localizada no Rio das Pedras (área de estudo).

A turbidez compreendeu a média máxima mensal. Os dados disponíveis de turbidez foram obtidos na Companhia de Saneamento do Paraná-SANEPAR e compreendem uma série histórica de janeiro de 2000 a dezembro 2005.

2.4 Chuva, Vazão e Turbidez Acumulada

Para análise da chuva, vazão e turbidez acumuladas, foram gerados gráficos com os 72 meses dos dados disponíveis (2000-2005). Os dados foram comparados nos períodos pré e pós caixa com o objetivo de verificar as disparidades das variáveis existentes em cada período. Para tanto foi considerado o total absoluto cumulativo mensal dos dados.

A técnica de análise utilizada para avaliação dos dados de precipitação, vazão e turbidez foi a estatística descritiva (média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação) e a regressão linear simples para comparar a relação de precipitação com os outros parâmetros (vazão e turbidez) no período pré-caixa e pós-caixa. Foi utilizado também o teste não paramétrico Mann-Whitney (0.05%) para comparar a mediana das variáveis hidrológicas antes e após a instalação das caixas de infiltração. Os dados foram tabulados, comparados e analisados por meio de gráficos *Box-Plot* e diagrama de dispersão.

3. Resultados

3.1 Estradas Rurais e Caixas de Infiltração

Estradas rurais aqui são entendidas como elementos geográficos não pavimentadas presentes nas paisagens rurais que exercem forte controle sobre a produção de sedimento. Por tipo de superfície no Brasil a malha da rede viária é composta em sua maioria por estradas não pavimentadas (Tabela 1).

Considerando a distância em um dos trechos mensurados (4,2 km), registraram-se 83 caixas de infiltração em que se estimou em torno de 1,93 ha de superfície exposta que constitui a estrada (solo nu), a qual é susceptível ao escoamento superficial e à produção de sedimento. A densidade média foi de 20 caixas/km no trecho

mensurado, enquanto que a largura média da estrada foi de $4,66 \pm 0,32$ m. Estima-se que o total de solo removido neste trecho para implantação das caixas foi de um total de $996,00 \text{ m}^3$ (Tabela 2).

Em outro trecho mensurado com 3,5 km na Bacia do Rio das Pedras a densidade média de caixas foi de 7 caixas/km e um total de 25 caixas registradas, enquanto que a largura média da estrada foi de $5,28 \pm 0,83$ m. Avaliando-se a distância do trecho mesurado, estimou-se em torno de 1,75 ha de superfície exposta que constitui a estrada (solo nu), qual é susceptível ao escoamento superficial e à produção de sedimento. Portanto, estimou-se que o total de solo removido neste trecho para implantação das caixas foi de $300,00 \text{ m}^3$ (Tabela 3).

Tabela 1: Total de estradas segundo o tipo de superfície existente

Local	Vias pavimentadas (km)	Vias pavimentadas (%)	Estradas rurais (km)	Estradas rurais (%)
Brasil	202.988,10	12,6	1.358.913,70	80,4
Paraná	19.343,3	17	98.172,9	83
Guarapuava	160,10	15,2	896,28	84,8
BRP	37,94	3	1.166,6	87,7
TOTAL	222.529,44	57,1	1.458.253,60	335,9

Organizado pelos autores (2015)

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DENIT, 2014)

Departamento de Estradas de Rodagem (DER, 2014).

Tabela 2: Área de contribuição média das caixas de infiltração (4,2 km)

Caixa	Largura média da estrada (m)	Distância entre as caixas (m)	Área de contribuição (m ²)
01—02	4,78	27	129,06
02—03	4,95	28	138,6
03—04	4,74	20	94,8
04—05	4,82	28	134,96
05—06	4,02	26	104,52
Média	4,66	25,8	120,37
Desvio Padrão	0,32	2,99	17,45

Organizado pelos autores (2015).

Tabela 3: Área de contribuição média das caixas de infiltração (3,5 km)

Caixa	Largura média da estrada (m)	Distância entre as caixas (m)	Área de contribuição (m ²)
01—02	5,25	430	2.257,00
02—03	6,48	350	2.268,00
03—04	5,48	780	4.274,00
04—05	5,37	490	2.631,00
05—06	3,86	370	1.428,00
Média	5,28	484	2.572,00
Desvio Padrão	0,83	155,8	938,1

Organizado pelos autores (2015).

Ocorre na Bacia essa discrepância de densidade de caixas de infiltração/km nos dois trechos mensurados, sendo que o mais comum na área de estudo é o primeiro trecho mencionado que possui densidade média de 20 caixas/km de estrada. Segundo Battistelli *et al.*, (2004) na área de estudo foi por meio do levantamento dos pontos críticos e análise do potencial de produção de sedimentos nas estradas rurais que os trechos de implantação das caixas foram selecionados, seguindo os seguintes critérios: as estradas selecionadas foram as que conduzem maior volume de sedimentos para os cursos d'água; o local é onde as estradas cortam mais vezes diretamente os maiores afluentes e o próprio Rio das Pedras; nestes locais, existe também a maior quantidade de pequenas e médias propriedades; maior concentração de rios e os setores com declividade mais acentuada.

3.2 Relação entre os Parâmetros Avaliados: Chuva, Vazão e Turbidez

3.2.1 Relação da Chuva e Vazão Antes e Depois da Implantação das Caixas de Infiltração

A precipitação influenciou positivamente no aumento da vazão (Figura 2a e 2b). Entretanto, antes da construção das caixas de infiltração (Figura 2a) a precipitação teve um efeito mais significativo na vazão quando comparado com o período pós-implantação das caixas (Figura 2b) ($\neq 42\%$). Na figura 2b destacam-se três meses excepcionais do ano de 2005 (período pós-caixa) em que houve vazão extremamente superior à média mensal (6,92 m³/s) de toda a série analisada no período pós-caixa. O mês de junho com 17,02 m³/s, setembro com 23,57 m³/s e outubro com 32,97 m³/s. Apesar desses três eventos mensais extraordinários, quando analisamos a soma total da vazão, notamos que no período pós-caixa a vazão foi inferior com 249,3 m³/s comparado ao período pré-caixa com 347,5 m³/s.

Em relação a precipitação houve oscilação moderada nos dois períodos analisados com soma total de 6.638,4 mm no período pré-caixa e 5.842,8 mm no período pós-caixa diferença, portanto de 795,8 mm ($\neq 6,3\%$) nos dois períodos analisados (Figura 2). Ressalta-se, porém, que o volume total de chuva não é o parâmetro mais importante para a capacidade de erosão na área de estudo.

3.2.2 Relação da Chuva e Turbidez Antes e Depois da Implantação das Caixas de Infiltração

Na Figura 3a nota-se que a relação precipitação e a turbidez tiveram uma correlação positiva mais forte no período pré-caixa quando comparada ao período pós-caixa (Figura 3b). A média da precipitação no período pré-caixa foi de 184,4 mm e no período pós-caixa foi de 162,29 mm. Entretanto, a média de turbidez no período pré-caixa foi 58,7 NTU e no período pós-caixa foi de 36,3 NTU. Portanto, ocorreu uma redução de 22,4% na turbidez entre os dois períodos avaliados (Figura 3).

3.2.3 Relação da Vazão e Turbidez Antes e Depois da Implantação das Caixas de Infiltração

Quando analisada a relação entre vazão e turbidez nota-se que a vazão influencia significativamente no aumento da turbidez. No período pré-caixa (Figura 4a) a correlação entre vazão e turbidez foi 21% maior se comparado ao período pós-caixa (Figuras 4 e 4b).

A precipitação mensal registrada nos 72 meses antes e depois das caixas de infiltração oscilou de forma moderada, ou seja, nos dois períodos os volumes mensais precipitados (mm) foram mais similares ($p = 0,25$) com proximidade das medianas em comparação aos outros dois parâmetros analisados (Figura 5b e 5c). Já a vazão (m³/s) antes e depois das caixas foi bem distinta (Figura 5b). A turbidez (NTU) antes e depois das caixas de infiltração também foi diferente (Figuras 5 e 5c).

3.3 Chuva, Vazão e Turbidez Acumulada: Comparação Entre os Períodos Pré e Pós Construção das Caixas de Infiltração

A chuva acumulada no período pré-caixa foi 13,6% superior ao período pós-caixa (Figura 6a). Por outro lado, a vazão acumulada no período pós-caixa foi 39,1% inferior ao período antes da implantação das caixas de infiltração (Figura 6b), e a redução da turbidez foi ainda mais expressiva, sendo 61,5% inferior no período pós-caixa (Figura 6c). A chuva foi inferior no período pós-caixa, mas os outros parâmetros (vazão e turbidez) foram significativamente inferiores (Figuras 3a e 3b; Figura 6).

É Possível Reduzir a Turbidez da Água em Bacia Rural por Meio de Implantação de Caixas de Infiltração?

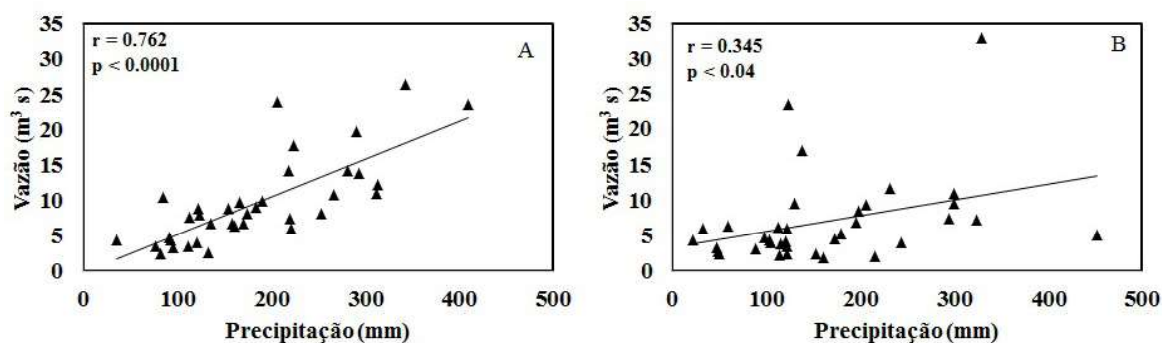


Figura 2- Mudança no processo chuva-vazão, mensurados em dois momentos a) correlação precipitação e vazão pré-caixa; b) correlação de precipitação e vazão pós-caixa. Organizado pelos autores (2015).

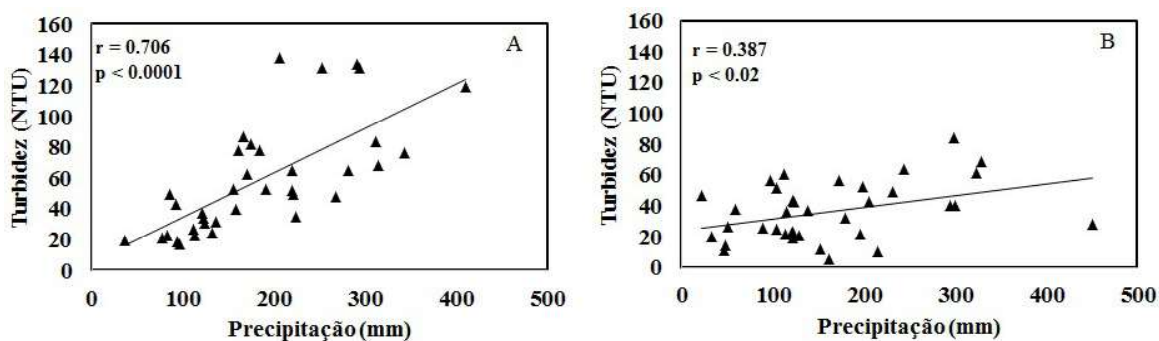


Figura 3 - Mudança no processo chuva-turbidez, mensurados em dois momentos a) correlação precipitação e turbidez pré-caixa; b) correlação de precipitação e turbidez pós-caixa. Organizado pelos autores (2015).

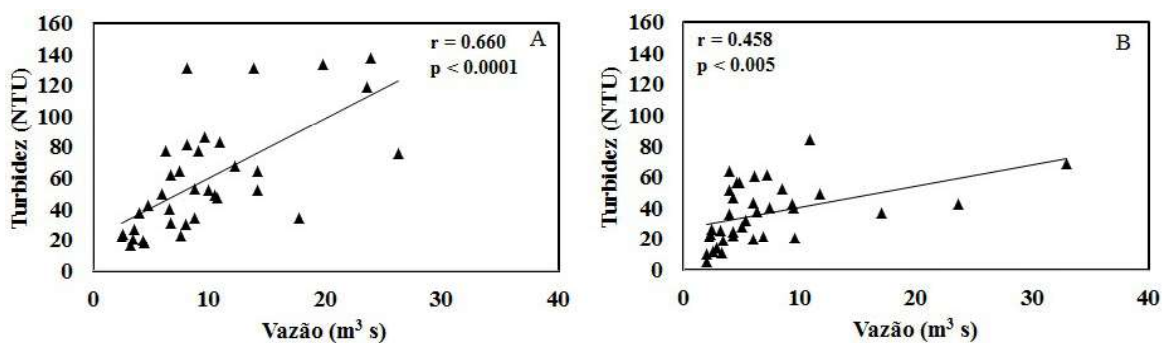


Figura 4 - Mudança no processo vazão-turbidez, mensurados em dois momentos a) correlação vazão e turbidez pré-caixa; b) correlação de vazão e turbidez pós-caixa. Organizado pelos autores (2015).

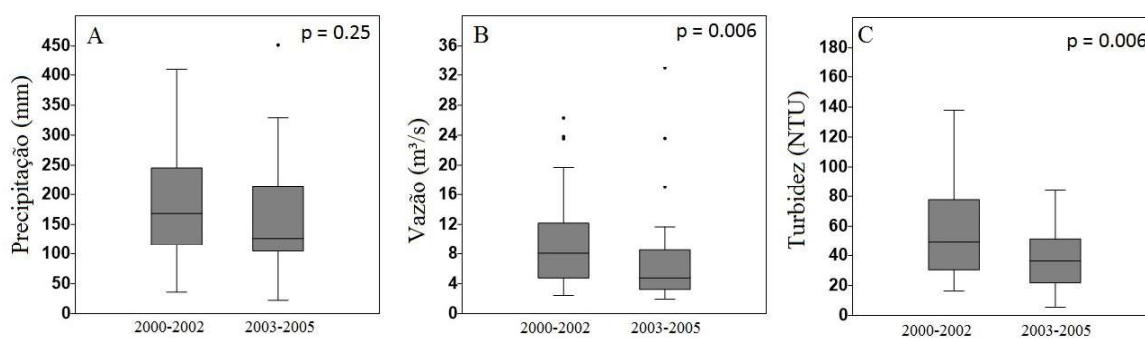


Figura 5- Comparação das medianas de precipitação, vazão e turbidez nos 36 meses pré-caixa (2000-2002) e nos 36 meses pós-caixa (2003-2005). Organizado pelos autores (2015).

As evidências sugerem que as caixas podem ter mudado o padrão da vazão e, sobretudo, da turbidez na Bacia do Rio das Pedras (Figura 7a). Contudo, como não houve manutenção periódica das caixas, elas foram

deteriorando-se gradativamente, ou seja, acumulando sedimentos, perdendo a função de armazenar água e o sedimento produzido sobretudo nas estradas rurais (Figuras 7 e 7b).

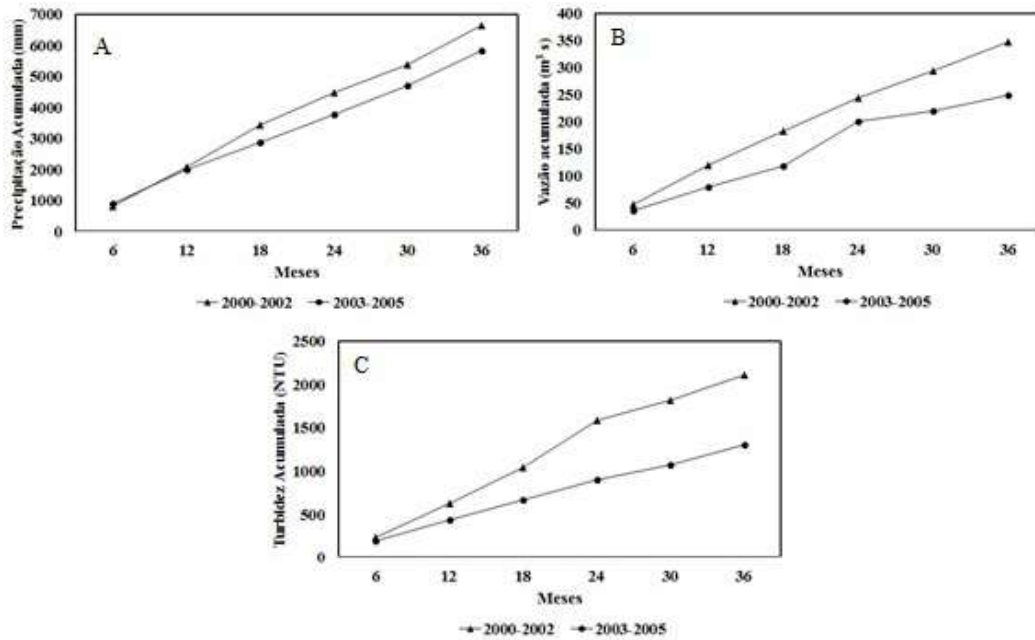


Figura 6- Variação de precipitação, vazão e turbidez acumulada no período pré-caixa (2000-2002) e período pós-caixa (2003-2005) Organizado pelos autores (2015).



Figura 7- Comparação das caixas de infiltração no período em atividade e no período em que já estavam deterioradas (desmoronamento das laterais). Em A, caixa de infiltração ativa retendo água e sedimentos produzidos, sobretudo nas estradas rurais, em B caixa de infiltração inativa sem condições de reter a água e sedimentos. Foto dos autores (2004-2006).

Discussão

As estradas rurais sem pavimentação são responsáveis pelo aumento da produção de sedimentos em Bacias de drenagem (LUCE e WEMPLE, 2001, KOCHER *et al.*, 2002, WEMPLE, 2013). São comuns em muitos países os problemas de produção de sedimentos em

estradas rurais (GRACE *et al.*, 1998, KOCHER *et al.*, 2002, SHUNITA *et al.*, 2012).

Sidle e Ziegler (2012) argumentam que no Sudeste da Ásia, por exemplo, a perda do solo e a erosão em estradas rurais com consequente depósito nos rios locais são atribuídas ao desmatamento generalizado, à

implantação de estradas mal planejadas e a falta de sistemas de drenagem, levando à desestabilização do solo e encostas. Essa situação ocorre também nas estradas da Bacia do Rio das Pedras, onde se observa um aumento na turbidez associado à descarga de sedimentos nos rios, especialmente produzidos nas estradas rurais da Bacia em questão.

O tipo de leito da estrada e o número de vezes que estas cortam os rios são fundamentais para a geração de escoamento superficial e a produção de sedimento (CROKE e MOCKLER, 2001, GRIEBELER 2002, FU *et al.*, 2010). Segundo Catelani *et al.*, (2004), a proximidade das vias em relação à rede de drenagem em Bacias hidrográficas com relevo acidentado, agravada pela ausência de dissipadores de energia, potencializa os processos de erosão e o transporte de sedimentos para os cursos de água.

Constata-se que do total de estradas rurais, 270,62 km, mais de 40% destas vias, ou seja, 115,3 km estão localizados nas proximidades de cursos d'água com 792 cruzamentos entre estradas e rios. Já as estradas com menos trafegabilidade foram construídas entre as propriedades para facilitar o deslocamento das pessoas e a retirada da madeira, mas estas também cruzam grande parte dos rios presentes na Bacia (CUNHA, 2011). Portanto, um efeito cumulativo da rede de estradas é responsável pelo aumento de transferência de sedimento para os rios de maior ordem (THOMAZ *et al.*, 2014).

Luce e Wemple (2001) destacam que as estradas rurais são potenciais na interceptação do fluxo superficial e subsuperficial aumentando assim a densidade de drenagem natural da Bacia, deslocando a distribuição de água na encosta, potencializando os picos de vazão e até turbidez nos canais fluviais receptores do fluxo superficial e subsuperficial interceptado pela estrada rural.

Por outro lado, quando implantadas as caixas de infiltração, a descarga de sedimentos nos rios pode ser atenuada. No período estudado notou-se que as caixas de infiltração possivelmente influenciaram o padrão de vazão e turbidez da Bacia do Rio das Pedras. Apesar da dificuldade em se comparar períodos distintos, notou-se que os registros de precipitação tiveram oscilações, entretanto moderada entre o período pré e pós-caixa ($\neq 6,3\%$). Contudo, a redução, especialmente, na turbidez foi significativa maior no período pós-implantação das caixas. Provavelmente as caixas de infiltração conseguiram amenizar o efeito da entrada de sedimentos

nos canais fluviais que ocorre rapidamente após uma chuva.

Thomaz e Pereira (2013) realizaram pesquisa em uma sub-bacia do Rio das Pedras por meio de chuva simulada (30 min de duração) com coleta da produção de sedimentos com intervalos regulares de 3 min. Constataram que em três trechos de estradas rurais, a média da concentração de sedimento foi de 81,51 g/L com pico (maior volume) em um dos trechos de 301,64 g/L. Os autores verificaram também que as partículas do solo são finas uma vez que em média 62,1% dos solos têm partículas entre 0,5mm e <0,125mm. Esse material fino é facilmente transportado durante as chuvas, evidenciando a importância das caixas de infiltração na retenção de sedimentos gerados em estradas rurais, especialmente, na carga de lavagem que responde rapidamente a um evento pluviométrico. O solo na sub-bacia mencionada pelos autores possui textura argilosa (>35%) sendo uma associação de Cambissolos Álicos e Neossolos Litólicos Álicos.

É notável a produção de sedimentos nas estradas rurais da Bacia do Rio das Pedras em eventos pluviométricos. Porém, segundo Lugo e Gucinski (2000), a entrada desses sedimentos nos rios fica condicionada à declividade do terreno, ao tipo de superfície de estrada, a presença ou não de dissipadores de energia, à conexão da estrada com o rio, ao substrato geológico e ao clima. Segundo informações fornecidas pelos funcionários da estação de tratamento de água que abastece o município, houve diminuição do custo de tratamento da água depois que as caixas de infiltração foram implantadas. Entretanto, não houve manutenção periódica das mesmas, impossibilitando assim que desempenhassem com sucesso a tarefa de armazenar água acumulada e sedimento produzidos nas estradas rurais por mais tempo.

Baesso e Gonçalves (2003) reforçam que as caixas devem sofrer manutenção frequente após cada período de chuva, verificando-se a existência de material carregado pelo fluxo de água, que deverá ser removido. Deve haver também a limpeza da película de argila que se forma no fundo da caixa, impedindo a infiltração da água no solo, recomposição da vegetação de proteção junto aos taludes da caixa, para protegê-la contra erosão, e a limpeza dos canais de admissão.

Por fim, em terrenos dissecados como no caso da Bacia do Rio das Pedras o manejo de estradas rurais é complexo, pois nem sempre é possível implantar as es-

tradas em locais geomorfopedologicamente adequados e evitar o cruzamento das estradas com os rios. Neste caso outras medidas podem ser tomadas para mitigar a transferência de sedimentos para o canal fluvial como exemplo a implantação das caixas de infiltração.

Entretanto, cada unidade de estrada deve ser analisada em sua particularidade geomorfopedológica. Por exemplo: a) deve-se evitar a construção de estradas em áreas úmidas, instáveis, com fortes rampas e perto das áreas de preservação permanente; b) deve-se evitar ao máximo o cruzamento de estradas com os canais fluviais; c) recomenda-se que quando as estradas rurais forem implantadas em terrenos mais íngremes sejam então instalados também dissipadores de energia para dissipar água e sedimentos a ser entregue nos rios; d) deve haver manutenção da estrada a cada 3 a 6 meses, podendo variar o tempo com o desgaste do local para evitar a erosão e degradação do ambiente; e) recomenda-se que as caixas de infiltração devem ter manutenção periódica após cada período de chuva verificando a existência de material carregado pelo fluxo de água, que deverá ser removido.

Conclusões

a) As caixas de infiltração são eficientes dissipadores de energia porque retêm o fluxo e os sedimentos gerados em estradas rurais. Contudo, necessitam de manutenção periódica para evitar a entrada de sedimentos nos corpos hídricos.

b) As evidências sugerem que as caixas de infiltração mudaram o padrão da turbidez e até da vazão, diminuindo consideravelmente a turbidez das águas superficiais.

c) A oscilação da precipitação nos dois períodos se manteve mais equilibrada quando comparada com a vazão e a turbidez, apesar disso, a redução principalmente da turbidez foi mais significativa no período pós-caixa.

d) Medidas preventivas e/ou mitigadoras como a implantação das caixas de infiltração podem ser adotadas para diminuir o impacto nas estradas rurais, cursos fluviais e áreas adjacentes.

Agradecimentos

Esta pesquisa teve o apoio financeiro, Edital MCT/ CNPq 15/2007- Universal- Faixa B (processo 475161/2007-6) Projeto: Avaliação do aporte de sedi-

mento proveniente de estradas rurais e de seus impactos na descarga sólida fluvial em suspensão, na Bacia do Rio Guabirola, Guarapuava-PR. À Fundação Araucária apoio financeiro, projeto: Avaliação de processos hidro-erosivos em estradas rurais por meio de chuva simulada e análise da eficácia de medidas de controle de sedimento na Bacia do Rio das Pedras (Chamada do Projeto n. 14/2009- A primeira autora durante a pesquisa recebeu auxílio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por ter concedido bolsa.

Referências Bibliográficas

- BAESSO, D. P. GONÇALVES, F. L. R. **Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção.** Florianópolis: DER, 2003. 204 p.
- BATTISTELLI, N. VALERA, S. A. R. HEERDT, B. Uso da terra da bacia hidrográfica do Rio das Pedras. In: Mauro Battistelli; Maurício Camargo Filho; Bettina Heerdt. (Org.). **Proteção e Manejo da Bacia do Rio das Pedras.** Guarapuava: Editora B & D Ltda, 2004, v. 1, p.100-108.
- COPSTEAD, R. **Summary of Historical and Legal Context for Water/ Road Interaction.** United States Department of Agriculture Forest Service Technology & Development Program, 1997.
- CROKE, J. MOCKLER, S. Gully initiation and road-to-stream linkage in a forested catchment, southeastern Australia. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 26, n. 2, p. 205-217, 2001.
- CUNHA, M. C. **Avaliação da eficácia das caixas de contenção de sedimentos em estradas rurais não pavimentadas na Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava, Paraná.** Dissertação (mestrado). Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava, Paraná, 132 p. 2011.
- CUNHA, M. C. THOMAZ, E. L. VESTENA, L. R. Medidas de controle de erosão em estradas rurais na bacia do rio das Pedras, Guarapuava-PR. **Revista Sociedade e Natureza-Uberlândia-MG**, nº 25 (1): 107-118, jan/abr/2013.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa, 2013. 412p.
- FU, B. NEWHAM, L. T. H. RAMOS-SCHARRÓN, C. E. A. A review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads. **Environmental Modelling e Software** 25, 1-14, 2010.
- GRACE III, J. M., RUMMER, B., STOKES, B. J. e WILHOIT,

- J. Evaluation of erosion control techniques on forest roads. **Transactions of the ASAE**, v. 41, n.2, pp.383-391, 1998.
- GRIEBELER, N. P. **Modelo para o dimensionamento de redes de drenagem e de bacias de acumulação de água em estradas não pavimentadas**. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 2002.
- LANE, P. J. KOKA, B. R. PATHAK, S. The reification of absorptive capacity: A critical review and rejuvenation of the construct. **Academy of Management Review**, 31(4): 833- 863, 2006.
- LANE, P. N. J. SHERIDAN, G. J. Impact of an unsealed forest road stream crossing: water quality and sediment sources. **Hydrological Processes**, v. 16, n. 13, p. 2599-2612, 2002.
- LUCE, C. H. WEMPLE, B. C. Introduction to Special Issue on Hydrologic and Geomorphic Effects of Forest Roads. **Earth Surf. Proc. Land**. 26 (2), 111–113, 2001.
- LUGO, A. E. GUCINSKI, H. Function, effect, and management of forest roads. **Forest Ecology and Management**. 133: 249-262, 2000.
- ODA, S. FERNANDES JÚNIOR, J. F. SÓRIA, M. H. A. **Implantação, localização e manutenção de estradas**. Departamento de transporte-EESC-USP, Universidade de São Paulo, 2007.
- RAMOS-SCHARRÓN, C. E. MACDONALD, L. H. Measurement and prediction of natural and anthropogenic sediment sources, St. John, U.S. Virgin Islands. **Catena**, v. 71, p. 250-266, 2007.
- SHUNITA, V. et al. Cluster-based pavement deterioration models for low-volume rural roads. **International Scholarly Research Network ISRN Civil Engineering**, Article ID 565948, 2012.
- SIDLE, R. C. ONDA, Y. Hydrogeomorphology: overview of an emerging science. **Hydrological Processes**, n. 18, p. 597-602, 2004.
- SIDLE, R. C. ZIEGLER, A. D. The dilemma of mountain roads. **Nature Geoscience**, vol.5, july 2012 |www.nature.com/naturegeoscience.
- THOMAZ, E. L. MELQUIADES, F. L. Discriminação de marcadores de proveniência de sedimento em bacia rural por meio de EDXRF. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, p. 95-102, 2009.
- THOMAZ, E. L. PEREIRA, A. A. Estrada rural não pavimentada como fonte de escoamento superficial e sedimento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.1, (Jan-Mar) p.13-21, 2013.
- THOMAZ, E. L. VESTENA, L. R. RAMOS SCHARRÓN, C. E. The effects of unpaved roads on suspended sediment concentration at varying spatial scales - a case study from Southern Brazil. **WEJ (Hertford)**, v. 28, p. 547-555, 2014.
- WALDYKOWSKI, P. KRZEMIENI, K. The role of road and footpath networks in shaping the relief of middle mountains on the example of the Gorce Mountains (Poland). **Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Germany**. DOI: 10.1127/0372 8854/2013/0108Zeitschrift für Geomorphologie Vol. 57,4 429–470, 2013.
- WEMPLE, C. B. Assessing the Effects of Unpaved Roads on Lake Champlain Water Quality. Lake Champlain Basin Program. **Technical report** n°. 74, 2013.