



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

MODELAGEM DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL PARA DETERMINAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

*Rherison Tyrone Silva Almeida*¹; *Nori Paulo Griebeler*²; *Thiago Arbués Botelho*³; *Marcelo Tsuyoshi Haraguchi*⁴ & *Simone de Almeida Jácomo*⁵

RESUMO – As estradas não pavimentadas são fundamentais para o desenvolvimento econômico e social. Nessas estradas, os problemas relacionados com a drenagem e erosão são comuns. A detecção de pontos críticos melhora a tomada de decisões e a aplicação de recursos, otimizando o processo de gestão e a redução dos impactos. Foram avaliados a intersecção do fluxo acumulado com a rede de estradas na microbacia Córrego Bandeira, GO. Utilizou-se um Modelo Digital de Elevação para gerar o fluxo acumulado e uma imagem orbital para o mapeamento da rede de estradas não pavimentadas. Estes dados foram cruzados e, posteriormente, verificados no trabalho de campo. A intersecção de estradas com linhas de escoamento mostrou pontos fortes de susceptibilidade à erosão, mostrando que o uso deste procedimento é adequado para determinar as áreas em risco de erosão em estradas não pavimentadas.

ABSTRACT– Unpaved roads are fundamental to economic and social development. Problems related with drainage and erosion are common in these roads. The detection of critical points improves the decision making and the application of resources, optimizing the process of managing and reducing impacts. Were evaluated the intersection of the accumulated flow with the road network in the Bandeira Stream watershed, GO. A Digital Elevation Model was used to generate the cumulative flow and an orbital image for unpaved roads network mapping. These data were crossed and subsequently to checked at fieldwork. The intersection of roads with runoff lines showed strong erosion points susceptibility, showing that the use of this procedure is suitable to determine areas at risk of erosion on unpaved roads.

1) Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, (EA/ UFG) Campus Samambaia, Goiânia, GO, Rodovia Goiânia / Nova Veneza, km 0, CEP 74001-970 – Cx. Postal 131, Mestrando em Agronomia, PPGA/UFG., (062)35211557, rherison.almeida@live.com

2) EA/UFG, Professor Associado, Engenharia de Biosistemas, (062)35211557, npgriebeler@gmail.com

3) EA/UFG, Mestrando em Agronomia, PPGA/UFG., thiago2012arbo@hotmail.com

4) EA/UFG, Doutorando em Agronomia, PPGA/UFG., haramt@yahoo.com.br

5) EA/UFG, Doutorando em Agronomia, PPGA/UFG., simonejacom@yahoo.com.br

Palavras-Chave – Erosão; Conservação do Solo; SIG.

1 - INTRODUÇÃO

A presença de sedimentos nos cursos d'água é consequência dos processos erosivos ocorridos nas suas bacias de contribuição, seja de origem natural ou intensificada pela atividade antrópica, como por exemplo, através da expansão da malha urbana e/ou de atividades agropecuárias. Além da contribuição das vertentes, outra fonte de sedimentos é a erosão ocorrida nas estradas não pavimentadas ou desencadeada pelas mesmas.

De acordo com a CNT/DNIT (2013), as estradas não pavimentadas representam 79,3% (1.358.793 km) da malha viária brasileira. Baesso e Gonçalves (2003) salientam que, quando estas estradas não são bem planejadas ou manejadas, se tornam importantes fontes de sedimentos.

Segundo Griebeler *et al.* (2009), esse tipo de estrada possui como característica a alta compactação do solo, o que reduz a infiltração da água e, conseqüentemente, aumenta a propensão ao escoamento superficial. Conforme esses autores, ao atingir determinada vazão, esse escoamento apresenta grande potencial para provocar o desprendimento e transporte do solo de seu próprio leito (pista de rolamento) e taludes. De acordo com Zoccal (2007), estas estradas contribuem com 50% do solo carreado aos mananciais e 70% das erosões existentes no estado de São Paulo.

O transporte desses sedimentos normalmente ocorre pelas áreas de relevo rebaixado do trecho de estrada podendo se concentrar nas áreas de fluxo acumulado das bacias, chegando aos canais de drenagem onde, de acordo com ICOLD (1989), os danos ambientais e econômicos devido à acumulação de sedimentos nos reservatórios podem ser grandes e difíceis de remediar. Assim, é importante que as ações para o controle da erosão em estradas não pavimentadas sejam previstas como parte do planejamento conservacionista em uma bacia hidrográfica Griebeler *et al.* (2009).

Espacialmente, em uma bacia hidrográfica, o excesso de precipitação escoar diretamente sobre a superfície do solo e gera um fluxo que vai se acumulando. O comportamento do fluxo acumulado depende da direção em que ele se processa, o que é influenciado pela gravidade que o impulsiona para as cotas mais baixas da paisagem, Júnior (2009). A partir do fluxo acumulado é possível representar os cursos d'água, bem como compreender o comportamento da rede de drenagem.

Utilizando um *software* para Sistema de Informações Geográficas (SIG) capaz de realizar os processos de aquisição e manipulação dos dados de elevação que representam o comportamento do relevo, pode-se realizar a geração do fluxo acumulado. O'Callaghan e Mark (1984) desenvolveram um método capaz de extrair a direção de fluxo, chamado *Deterministic 8* ou D8. O qual, utilizando

um Modelo Digital de Elevação (MDE), o método analisa cada célula da matriz e seus oito vizinhos. Assim, a célula mais íngreme em relação aos seus oito vizinhos recebe a direção do fluxo (Figura 2a), formando as linhas de fluxo acumulado (Figura 2b).

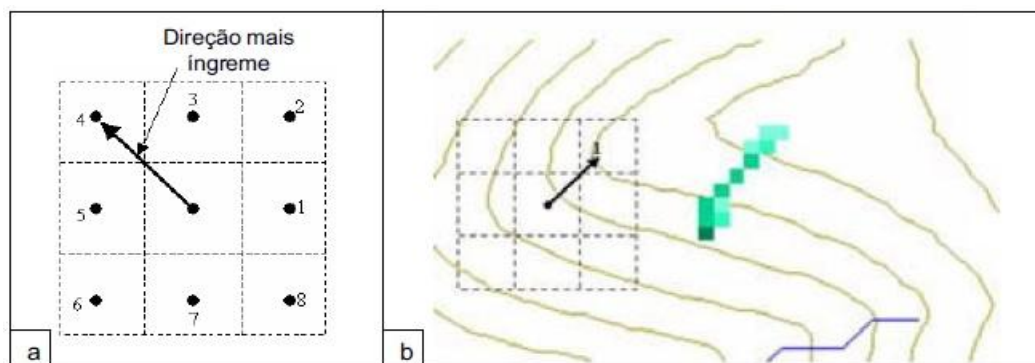


Figura 2 – Determinação da direção de fluxo acumulado do algoritmo *Deterministic 8* (D8). (a) Cálculo da direção do fluxo a partir do conhecimento da área mais íngreme em relação às oito células vizinhas. (b) Exemplo de resultado em *grid* pelo D8. Fonte: Valentin (2008).

Esse procedimento é comumente utilizado como suporte para a extração automática de canais de drenagem por meio de técnicas de geoprocessamento em SIG. Embora nem sempre representem necessariamente um curso hídrico. Pois, simultaneamente a isso, também podem evidenciar superfícies côncavas na paisagem, como depressões e/ou fundos de vale, responsáveis por captar a água em seu entorno e conduzi-la para os canais de drenagem.

Dessa forma, quando essas estradas não apresentam sistemas de drenagem adequados o escoamento superficial flui para a saída em cota mais baixa, a qual, muitas vezes coincide com a linha de fluxo acumulado nas bacias no ponto de intersecção com a estrada. Assim, os sedimentos carregados pelo escoamento superficial do trecho da estrada serão concentrados neste ponto, com forte propensão de transporte até os mananciais, provocando assoreamentos e perda da qualidade das águas.

Nesse contexto, pressupondo-se que, as áreas onde as linhas de fluxo acumulado intersectam com as estradas não pavimentadas representam um ponto de risco de degradação do leito da estrada, o presente estudo teve como objetivo o mapeamento das linhas de fluxo de escoamento em uma bacia hidrográfica e a intersecção destas com a malha de estradas não pavimentadas, buscando a identificação de pontos críticos para o planejamento da rede.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Área de estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do córrego Bandeira, localizada no Estado de Goiás, abrangendo parte dos municípios de Goiânia e Nerópolis (Figura 1). O córrego Bandeira é afluente do ribeirão João Leite, o qual possui grande importância socioeconômica para a região Metropolitana de Goiânia. Em 2010, 35% dos produtos hortifrúti vendidos na Central de Abastecimento do Estado de Goiás foram produzidos nos domínios dessa bacia, CEASA-GO (2011). Na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite situa-se o reservatório responsável pelo abastecimento de 1.896.975 habitantes, tendo como meta garantir o abastecimento a 2.352.069 de habitantes até o ano de 2025, Saneago (2013).

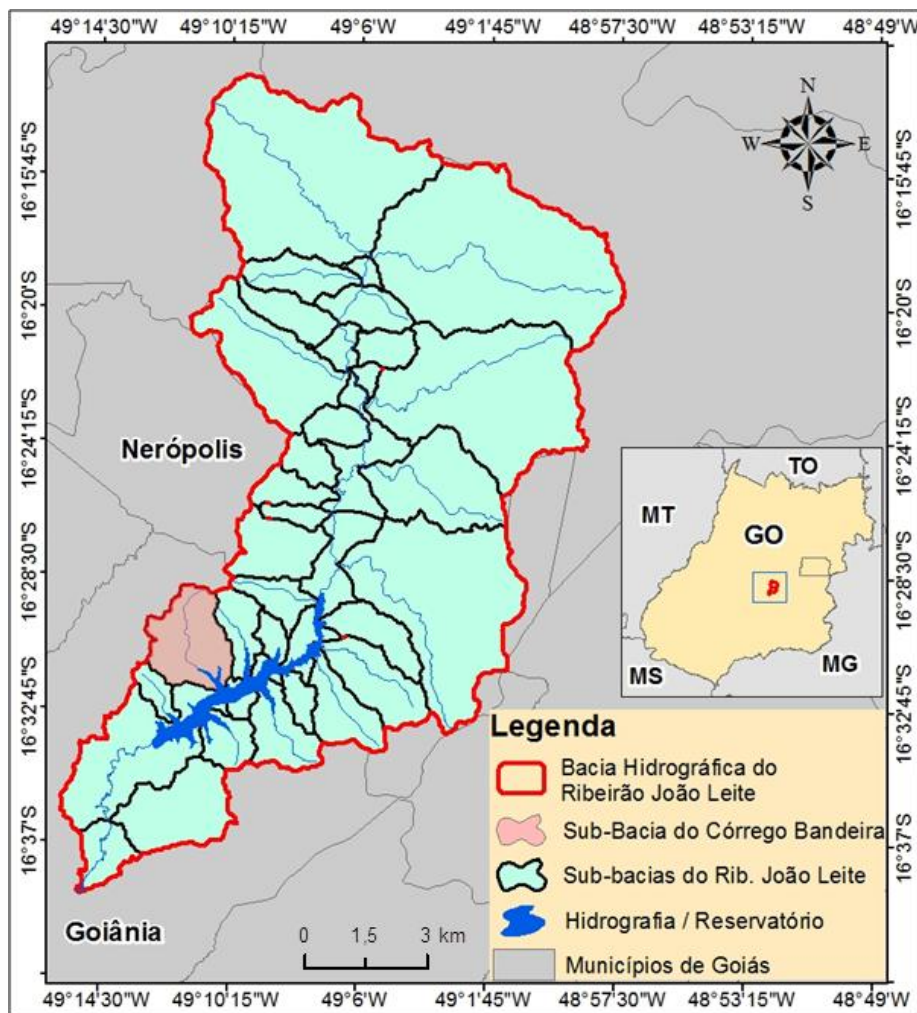


Figura 1 – Localização da Sub-bacia do Córrego Bandeira nos limites geográficos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite (GO). Fonte: BiomaBrasil (2013).

2.2 – Base de dados

Para a delimitação da malha viária da bacia hidrográfica do Córrego Bandeira utilizou-se a imagem do sensor THEOS (*Thailand Earth Observation Satellite*) do ano de 2010/2011, disponibilizada pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás (SEMARH). O THEOS possui um sensor pancromático com 2 metros de resolução espacial, o qual permitiu o mapeamento detalhado das estradas não pavimentadas da área de estudo, as quais foram manualmente vetorizadas com o uso do *software* ArcGIS® 10.2.2, ESRI (2014).

Para a geração do fluxo acumulado, foi adquirida uma cena do Modelo Digital de Elevação (MDE) de resolução espacial de 30 metros, oriundo do projeto Topodata (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>). As imagens de vista aérea utilizadas para comparar com o resultado do mapa de fluxo acumulado foram obtidas através do *software* Google Earth.

2.3 – Geração do fluxo acumulado e intersecção com a malha viária

Para a geração do fluxo acumulado foi utilizado o *software* ArcGIS® 10.2.2, aplicando as seguintes ferramentas: *Spatial Analyst Tools*, *Hydrology*, *Fill*, *Flow Direction* e *Flow Accumulation*. As extensões *Data Management Tools* e *Conversion Tools* foram usadas na preparação dos Modelos Digitais de Elevação projetando-os para o sistema de coordenadas UTM, Datum SAD-69, Fuso 22S.

Depois de efetuado o recorte dos dados referentes à área da bacia do Córrego Bandeira, foi realizado o comando *fill* para corrigir as depressões espúrias, tentando garantir um modelo digital de elevação hidrológicamente consistido. Usado esse MDE corrigido realizou-se a geração da direção de fluxo (*flow direction*), sendo utilizado em seguida para gerar o fluxo acumulado (*flow accumulation*). O cálculo da direção do fluxo nesse *software* utiliza exclusivamente o método D8.

Após a geração das linhas de fluxo acumulado, foi sobreposta a malha de estradas não pavimentadas, permitindo a identificação de pontos de intersecção, sendo, para verificação em campo escolhidos, aleatoriamente, dois pontos com diferentes níveis de acumulação de fluxo. A localização em campo dos pontos de intersecção escolhidos foi feita por meio das coordenadas e pelo uso de um receptor GPS (Posicionamento Global por Satélite) de navegação. As características de campo foram verificadas e registradas fotograficamente.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 é apresentada uma imagem da área de estudo com as linhas de fluxo acumulado (linhas em azul), com a sobreposição do mapa de malha viária, permitindo identificar vários pontos de intersecção, indicando os pontos de verificação em campo. O escurecimento das linhas de fluxo acumulado indica a direção do escoamento proporcionado pelo grau de acúmulo de fluxo hídrico ao longo do terreno na bacia hidrográfica.

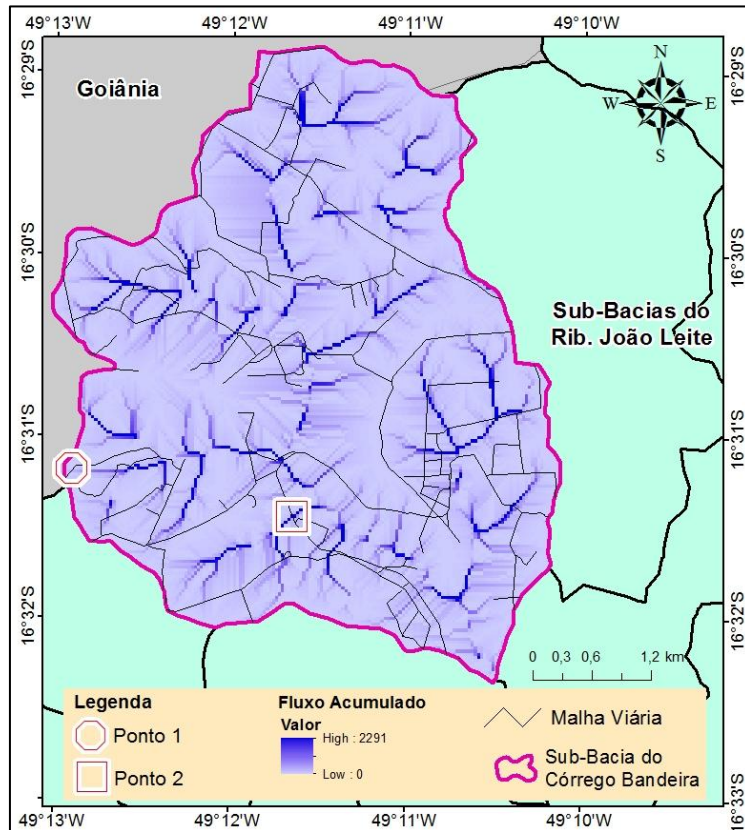


Figura 3 – Imagem de linhas de fluxo e malha de estradas não pavimentadas e, localização dos pontos para análise de campo do procedimento de intersecção do fluxo acumulado com a malha viária.

O ponto 1 está localizado entre coordenadas geográficas: 16°31'12.10" de Latitude Sul e 49°12'55.61" de Longitude Oeste. Na Figura 4a é demonstrada a imagem orbital do local e na figura 4b, o mapa de intersecção do fluxo acumulado com a estrada não pavimentada.

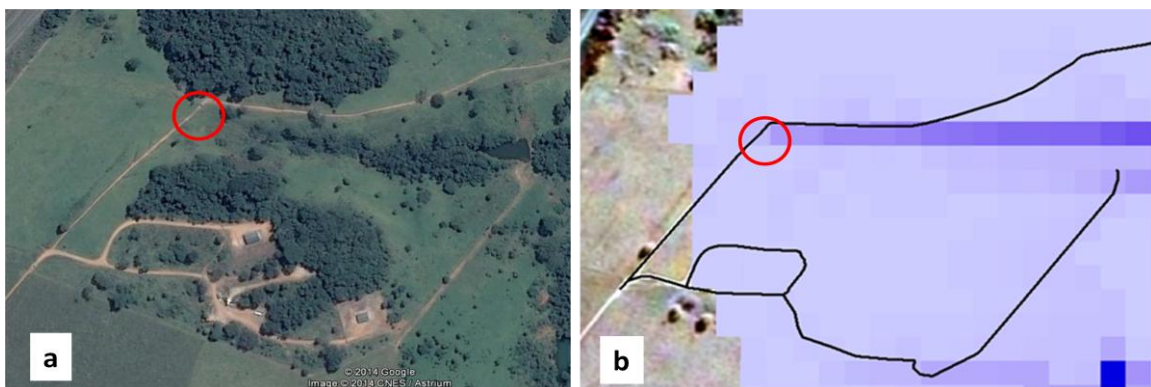


Figura 4 – (a) Vista aérea e localização do ponto 1. (b) Intersecção do início da linha de fluxo acumulado com a estrada não pavimentada

Constatou-se em campo que, as medidas básicas de controle de erosão em estradas, como o abaulamento da seção transversal (forma convexa do leito) e sistemas de drenagem estão ausentes. Diante disso, proporcionou a concentração do escoamento superficial no próprio leito da estrada, formando sulcos erosivos. Tais sulcos se direcionam justamente para a linha de fluxo, a qual é a

saída mais fácil para o escoamento superficial por ser a área mais rebaixada do trecho da estrada (Figura 5).



Figura 5 – Área de depressão no relevo indicando o início da linha de fluxo acumulado. Os sulcos erosivos na estrada indicam que o escoamento superficial segue em direção a essa área de fluxo acumulado.

Ao encontrar esse ponto de saída, o escoamento superficial proveniente da estrada segue o sentido da linha de fluxo acumulado, por onde os sedimentos erodidos serão carreados. Nessas áreas, existem algumas características que podem agravar a situação. O relevo, por exemplo, que naturalmente possui a forma côncava, geralmente são áreas de maior vulnerabilidade devido à frequente concentração de fluxo hídrico. Quando associado ainda à ausência de cobertura vegetal nativa, dando lugar à pastagem e situado em áreas de cabeceira de drenagem torna-se, portanto, um ponto de potencial risco a erosões de maiores magnitudes, conforme apresentado na fotografia da Figura 6, que representa a linha de fluxo indicada na Figura 4b.



Figura 6 – Concavidade do relevo em área de fluxo acumulado à beira de estrada não pavimentada.

No ponto 2, localizado entre coordenadas geográficas: $16^{\circ}31'28.59''$ de Latitude Sul e $49^{\circ}11'40.53''$ de Longitude Oeste, foi identificado uma situação mais crítica em relação ao ponto anterior. Este ponto intersecta com um canal de drenagem situado a 260 metros do espelho d'água do reservatório do ribeirão João Leite (Figuras 7a e 7b).

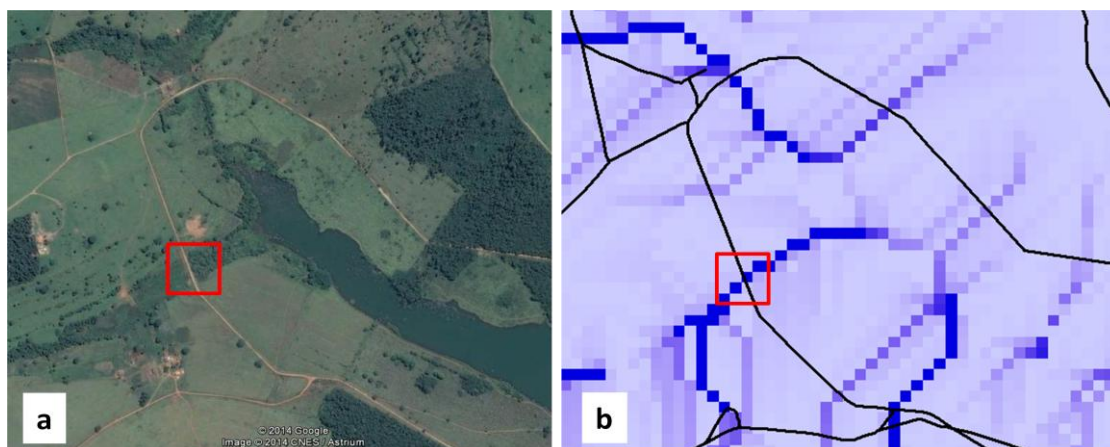


Figura 7 – (a) Vista aérea e localização do ponto 2. (b) Intersecção da linha de fluxo acumulado com a estrada não pavimentada.

Observando a Figura 8, nota-se que a topografia da estrada é relativamente plana. Entretanto, no único ponto onde existe uma depressão em seu trecho proporcionou para que este fosse o ponto de saída do escoamento superficial proveniente da estrada. Evidenciando assim, o ponto crítico desse local.



Figura 8 – Foto ilustrativa do ponto de intersecção da estrada com a linha de fluxo acumulado. A seta em vermelho indica a área de depressão na estrada e local de saída do escoamento superficial. A seta em laranja mostra os sulcos erosivos adjacentes à estrada, consequência da ausência de sistemas de drenagem.

Ao sair pelo ponto mais baixo do relevo, o escoamento superficial danificou a área adjacente à estrada, erodindo sua lateral. Além de ter formado sulcos que se estendem até o canal de drenagem situado abaixo, tornando suscetível ao processo de voçorocamento, podendo atingir o lençol freático devido à proximidade ao mesmo, caso não haja nenhum tipo de intervenção (Figuras 9a e 9b).

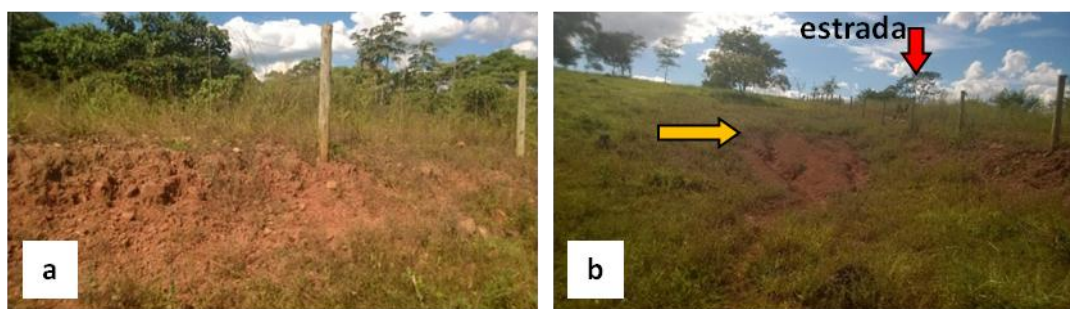


Figura 9 – (a) erosão à margem da estrada. (b) Sulcos erosivos formados pela concentração do escoamento superficial proveniente da estrada.

Nas Figuras 10a e 10b são observados que os sedimentos provenientes tanto da estrada quanto dos sulcos erosivos que se formaram devido ao escoamento superficial, na região do ponto de intersecção 2, estão assoreando o canal de drenagem situado abaixo.

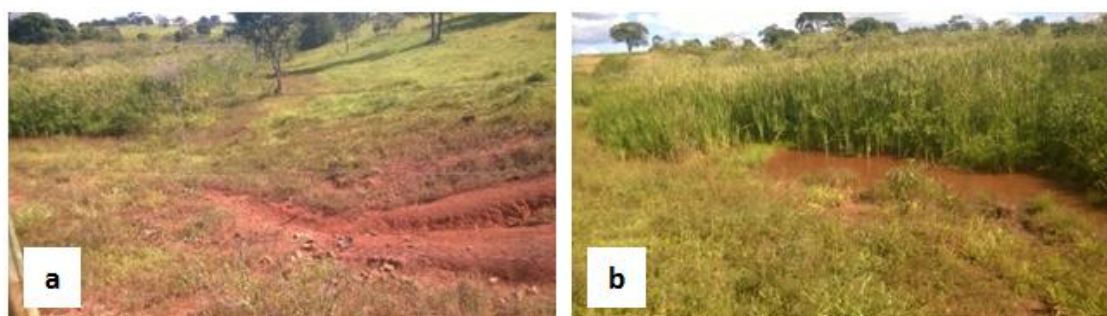


Figura 10 – Fotografias de um dos canais do Córrego Bandeira, GO: (a) Presença de sulcos erosivos com aproximadamente 15 cm de profundidade a poucos metros de canal de drenagem; (b) Ocorrência de assoreamento.

Os resultados encontrados por meio desta análise indicam que, a utilização das linhas de concentração de escoamento pode servir como indicativo para ações de planejamento e controle de processos erosivos em bacias hidrográficas. Pode também servir como indicativo de pontos de vulnerabilidade da malha viária e assim favorecer ações de prevenção de riscos ambientais. O conhecimento dos locais de maior vulnerabilidade à degradação das estradas permitirá que a destinação de recursos para o estabelecimento de práticas de conservação e construção das obras de arte em estradas seja mais bem direcionada, auxiliando assim na gestão municipal. A melhoria na escala da base de dados de relevo e a inclusão de base de dados de solo permitirá a recomendação de ações para planejamento e controle de processos erosivos em estradas de maneira mais segura.

4 – CONCLUSÕES

A intersecção da malha viária com as linhas de fluxo do escoamento superficial em estradas não pavimentadas indicou forte suscetibilidade a problemas relacionados à erosão e assoreamento de mananciais hídricos.

A resolução espacial do Modelo Digital de Elevação do projeto Topodata permitiu um bom ajuste e mostrou-se adequado para indicação de pontos de risco à erosão.

O emprego deste procedimento de avaliação mostrou-se adequado para determinar áreas de risco à erosão em estradas não pavimentadas.

BIBLIOGRAFIA

BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. R. (2003). “Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção”. DER Florianópolis-SC, 204 p.

CEASA-GO – Central de Abastecimento do Estado de Goiás. (2011). “Análise Conjuntural 2010 nº 35”. Divisão Técnica e Econômica, Goiânia-GO.

CNT/DNIT – Confederação Nacional Do Transporte/ Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. (2013). “Pesquisa CNT de rodovias 2013: relatório gerencial”. CNT/SEST: SENAT, Brasília-DF, 389 p.

ESRI – “ArcGIS”. (2014). ArcGIS Free Trial Version 10.2.2. Published by ESRI, 2014.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A. (2009). “Controle de Erosão em Estradas Não Pavimentadas”, in *Conservação de Solo e Água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica*. Org. por Pruski, F.F., ed. UFV, Viçosa – MG, pp. 166 – 215

ICOLD–International Commission on Large Dams. (1989). *Sedimentation control of reservoirs/Maitrise de l'alluvionnement des retenues*. Committee on Sedimentation of Reservoirs, Paris, 159 p.

JÚNIOR, W. P. S. (2009). “Modelagem Espacial de Fluxo de Água Utilizando Autômatos Híbridos”. 77 f. Dissertação (Mestrado em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente) - Centro Universitário de Anápolis, UniEvangélica, Anápolis-GO.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. (1984). “The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data”. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, n. 28, pp. 323-344.

SANEAGO – Saneamento de Goiás S/A. (2013). “Projeto de ampliação do sistema produtor de água de Goiânia e áreas conturbadas - Sistema João Leite”. Disponível em <<http://www.saneago.com.br/site/?id=programas4>>. Acesso em: 30 jun. 2013.

VALENTIN, E. F. D. (2008). “Modelagem Dinâmica de Perdas de Solo: o Caso do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto-DF/GO”. 195 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília-DF.

ZOCCAL, J. C. (2007). “Soluções cadernos de estudos em conservação do solo e água: Adequação de erosões: causas, consequências e controle da erosão rural”. CODASP, v1. n1, Presidente Prudente-SP, 66 p.