

Geoprocessamento na determinação da proximidade de estradas vicinais em relação à rede de drenagem em uma bacia hidrográfica no Município de Taubaté, SP

Celso de Souza Catelani¹
Getulio Teixeira Batista²
Marcelo dos Santos Targa²

¹ Graduando em Geografia Universidade de Taubaté (UNITAU)

² Universidade de Taubaté (UNITAU)

Est. Munic. Dr. José Luiz Cembranelli, 5.000, CEP 12.081-010, B. Itaim, Taubaté, SP, Brasil
celso@agro.unitau.br, getulio@agro.unitau.br, mtarga@agro.unitau.br

Abstract. The rural roads that serve as main access for the transport of people and goods constituted by the lack of appropriate planning, in one of the largest sources of sediments towards the drainage system, especially in hydrographic basins with agricultural and livestock activities in mountainous regions. Compaction or pavement of the road bed prevents water infiltration and concentrates the energy of runoff towards the road shoulders. These factors are aggravated by the lack of a road design that takes in consideration environmental concerns such as the contention of slopes and soil conservation. When the roads and the drainage network are close to each other, these factors can seriously limit the water quality of rivers. Thus, this work had the objective to verify the proximity of the roads to the river network and also to compare the “cost” of an existent with a simulated road path that minimizes the intersection with the drainage streams. Results of the analysis of the entire watershed showed a total of 173.4 Km of roads and 278.6 Km of existent water courses. It was observed that 286 intersections occurred between roads and courses of water and 69.8% of the roads are located between 0 and 100 meters of distance from a stream, of which, 19.8% are between 0 and 30m. Of the remaining 30.2%; 24.6% are between 100 and 200m; 4.9% between 200 and 300m; and 0.7% between 300 and 400m of distance. These data revealed a situation of high erosion risk in this watershed. The comparison between an existent road close to the river with a simulated road that would run by the water divisors, therefore, it would not cross any drainage path demonstrated that the simulated road would represent an increment of 2,768 m of extension and an additional effort of slope of 16.6% in relation to the existent road, for a distance of 18,358m between two waypoints. Therefore, it is clear that there is a cost to minimize erosion from the roads and that several factors are to be considered to reformulate the current rural road network system of Taubaté municipality.

Palavras-chave: geoprocessing, GIS, erosion, road construction, SIG, rede de drenagem, geoprocessamento, estradas vicinais.

1. Introdução

As estradas vicinais que permitem o fluxo de mercadorias e serviços na zona rural dos municípios do Estado de São Paulo, via de regra são oriundas do aproveitamento de trilhas e caminhos existentes, condicionadas a um traçado geométrico carregado de fortes rampas e curvas acentuadas (CARVALHO, 1992). Estudos acerca da conservação de estradas vicinais apontam o transporte de sedimentos e os problemas de erosão do solo nas margens de estradas e o conseqüente carreamento de materiais para os leitos dos rios como fatores de agravamento das condições ambientais e da qualidade dos recursos hídricos (CEPA, 1999). A proximidade das vias em relação à rede de drenagem em bacias hidrográficas com relevo acidentado, agravada pela ausência do planejamento de dispositivos de drenagem superficial e contenção dos processos de erosão de taludes na construção dessas vias, potencializa a ação da força hidráulica das enxurradas como elemento de remoção e transporte de material em direção aos cursos d'água (CATELANI et al., 2004). Nesse contexto, o levantamento da ocorrência de vias em faixas de distância pré-estabelecidas em relação à rede de drenagem gera uma série de informações que servirão como subsídios para a discussão e o planejamento de ações de mitigação dos problemas de assoreamento de cursos d'água e de manutenção das condições de tráfego e acessibilidade das populações que residem nessas áreas. Em particular, no contexto da microbacia objeto desse estudo, o problema é bastante relevante e foi identificado no Plano de Bacias do Comitê das Bacias Hidrográficas do Paraíba do Sul (CBH-PS) como meta prioritária a redução da carga de sedimentos da Bacia do Rio Una, que engloba a microbacia estudada nesse trabalho (CPTI, 2001).

O uso de técnicas de geoprocessamento no estado da arte dos SIGs atuais para o diagnóstico de problemas relacionados a estradas vicinais, como por exemplo, Redes Neurais Artificiais, utilizado por Nunes (2003) e procedimentos de álgebra de mapas ou álgebra de geo-campos, utilizados por Cordeiro et al. (1996), constituem-se como importantes ferramentas no levantamento de informações espacializadas sobre cruzamentos e relações topológicas entre o traçado das vias, a rede de drenagem e o perfil de relevo numa bacia hidrográfica. Este conjunto de ferramentas permite, ainda, a criação de modelos preditivos e a simulação de situações alternativas aos traçados existentes.

Nesse sentido, a microbacia hidrográfica do Pouso Frio, sub bacia do Rio Una, localizada em Taubaté, SP, apresenta relevo, drenagem e densidade de vias carregados de situações que merecem estudo sobre a inter-relação de questões de tráfego e implicações ambientais, principalmente no que se refere ao transporte de sedimentos em direção aos cursos d'água. Assim, este estudo avaliou a relação entre a rede de estradas vicinais e a rede de drenagem, levando em consideração o relevo, o estado de conservação e o planejamento dessas vias, com base em geoprocessamento e trabalho de campo.

2. Materiais e métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho sobre a Bacia do Pouso Frio (**Figura 1**), foi utilizado o SIG completo, denominado Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING; Câmara et al., 1996), no qual foi criado um banco de dados georreferenciado na projeção UTM, Datum SAD-69 e meridiano central de 45°, abrangendo uma área situada entre as coordenadas $X_1= 448.000$, $Y_1= 7.440.000$, $X_2= 467.000$ e $Y_2= 7.457.000$. Como informações de base foram utilizados dados altimétricos, redes viária e de drenagem, extraídos de cartas na escala 1:10.000 (IGC, 1978) e complementados com base em um mosaico ortorretificado e informações, incluindo fotos, obtidas durante a fase de verificação de campo do mapeamento de uso da terra, disponíveis no projeto “Banco de Dados

Ambientais da Bacia do Rio Una”, financiado pelo FEHIDRO - Fundo Estadual de Recursos Hídricos, SP, através do contrato n° 280/2002. (Projeto Una, 2004).

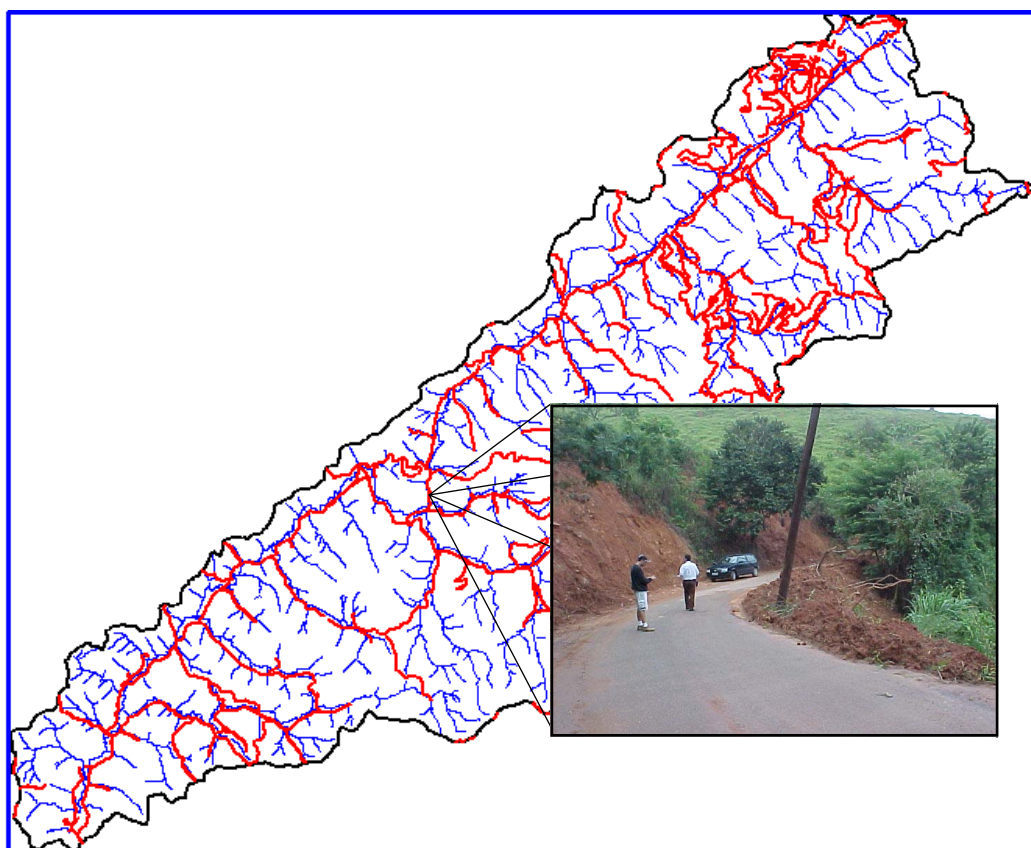


Figura 1. Bacia hidrográfica do Pouso Frio, detalhe de movimento de massa por escorregamento de encosta que ocorre a menos de 30m da margem do rio. É marcante a proximidade visual das estradas, em vermelho, com a rede de drenagem, em azul.

A quantificação da ocorrência das estradas vicinais nas respectivas faixas de distância em relação à drenagem foi obtida pelo processo de tabulação cruzada disponível no SPRING, para isso foi necessária a geração prévia dos mapas de distâncias no modelo numérico a partir da rede de drenagem e da malha viária com resolução de 1m/píxel, os quais foram fatiados (buffer), em faixas de distância pré estabelecidas (**Figuras 2 e 3**). O mapa de distâncias da rede de drenagem foi fatiado nas faixas de 0 a 30 m, 30 a 100m, 100 a 200m, 200 a 300m e de 300 a 400 metros de distância do eixo da drenagem.

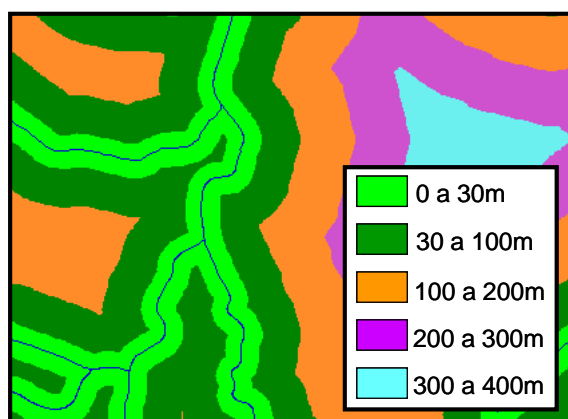


Figura 2. Faixas de distância em relação à rede de drenagem.

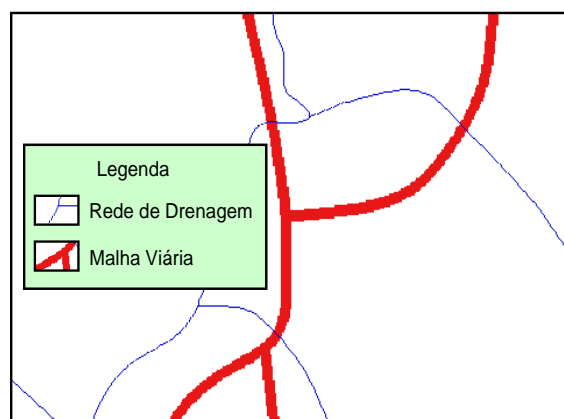


Figura 3. Malha viária em formato raster.

Os pontos de cruzamentos entre a malha viária e a rede de drenagem foram obtidos inicialmente, através da geração dos mapas de drenagem e de vias no formato matricial (raster). Estes mapas foram gerados pela criação dos respectivos mapas de distância em modelo numérico dos planos de informação “vias” e “drenagem” com resolução de 1m/píxel, em seguida, os mapas de distância foram fatiados com uma faixa de três metros para ambos lados, o que formou uma representação matricial de rios e vias padronizados com seis metros de largura, o que simula uma situação próxima da realidade da bacia. Estes mapas foram cruzados através de uma operação “booleana” onde foi atribuída uma nova classe a cada ocorrência de cruzamento (**Figura 3**). Este processo foi realizado utilizando a linguagem de programação LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algebrico (CORDEIRO, 1996).

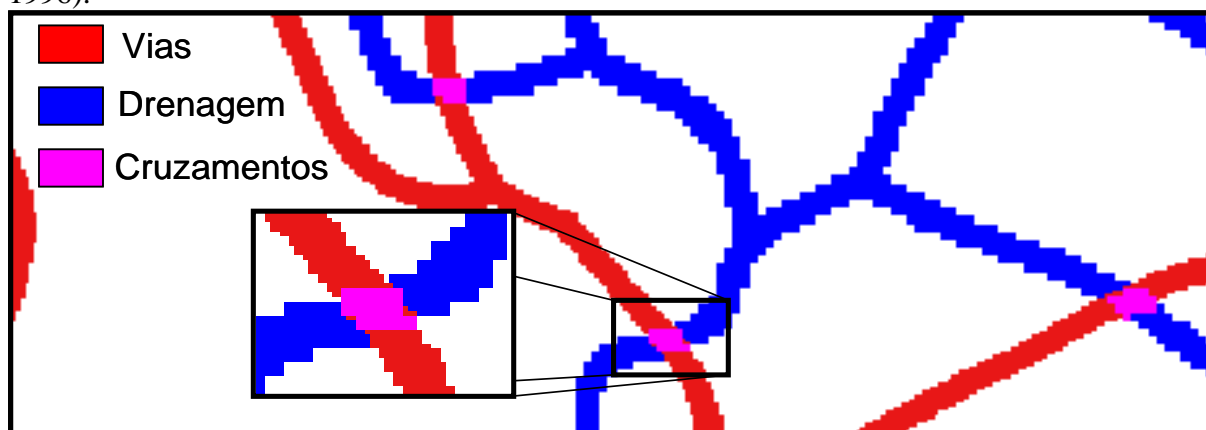


Figura 3. Detalhe das redes de drenagem e rodovia usadas no processo de obtenção do número de cruzamentos entre vias e drenagem existentes na bacia. Cada cruzamento aumenta o risco de assoreamento do rio.

Como alternativa ao traçado existente, foi simulado um traçado alternativo para a estrada, em foco, que minimizasse o cruzamento da rede de drenagem e, assim, diminuir o risco de erosão. Dessa forma, projetou-se a nova estrada pela linha de cumeada ou divisor de águas. Verificou-se para ambos traçados a distância e o esforço entre dois pontos comuns nessas duas vias. Para verificar as distâncias percorridas e o esforço de subida nas duas vias, usou-se o modelo “rede” e a classificação topológica de ambas vias (**Figura 5**), de forma a se estabelecer o sentido da foz para a nascente, que permitiu a geração de um gráfico do perfil da altitude em relação à distância percorrida (**Figura 6**).

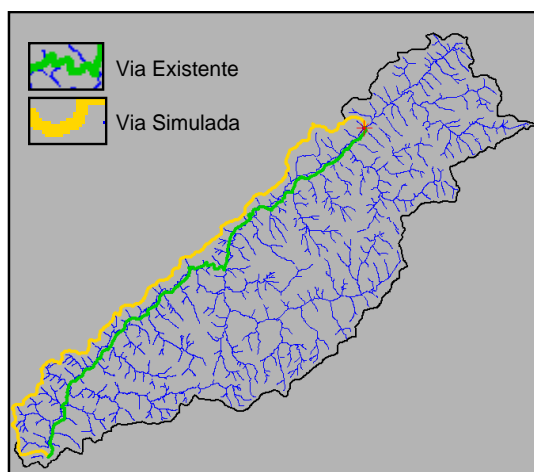


Figura 5. Vias de acesso: a) verde – traçado existente; b) amarelo – traçado alternativo (linha de cumeada).

Após a criação e classificação topológica das vias no modelo “rede”, foi criado um perfil topográfico orientado pelo percurso das vias sobre uma grade regular de altimetria (**Figura 6**). Com base nesse perfil foram calculados a distância entre dois pontos e o aclave acumulado para ambas as vias.

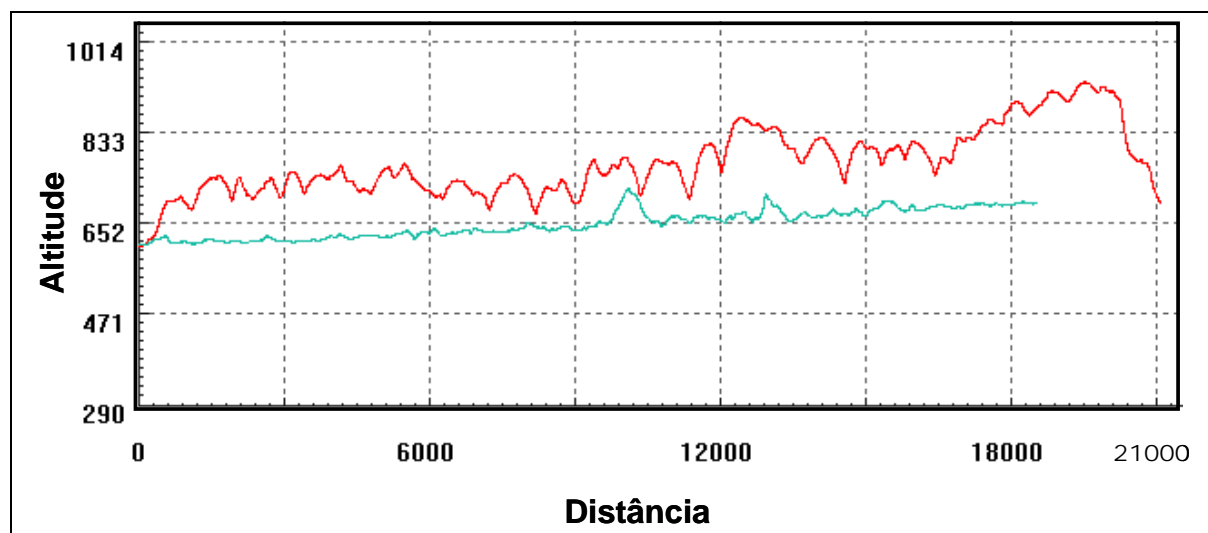


Figura 6. Perfil altimétrico das vias: verde – traçado original; vermelho – traçado alternativo (cumeada).

3. Resultados

Dentre os resultados da análise desta microbacia hidrográfica, ficou demonstrado que na distribuição das terras em relação à proximidade da rede de drenagem, existe uma predominância na concentração de vias na faixa entre 0 a 100 m de distância dos cursos d’água, **Tabela 1 e Figura 7**.

TABELA 01 - Áreas das faixas de proximidade da rede de drenagem e respectivo percentual de ocorrência na bacia

Faixas de Proximidade	Área das Faixas Km ²	% da Bacia
0-30m	16,6	20,1
30-100m	33,0	40,0
100-200m	26,4	32,1
200-300m	5,8	7,0
300-400m	0,7	0,8
Área total das faixas	82,4	100,0

De um total de 173,37 Km de vias de acesso e 278,64 Km de cursos d’água existentes na microbacia, ocorrem 286 cruzamentos entre vias e cursos d’água.

A ocorrência das vias em relação à proximidade da rede de drenagem demonstrou que existe uma predominância das vias entre 0 e 100 metros de distância, dos quais 19,8% encontram-se a menos de 30 metros das margens, portanto, situam-se em Áreas de Preservação Permanente, previstas no Código Florestal, Lei 4.771/65 e Resolução CONAMA 303/2002. Nota-se ainda que à medida que se distancia desses cursos d’água a ocorrência das vias diminui gradativamente, até se constatar que não ocorre via de acesso em distâncias maiores que 400 metros a partir da rede de drenagem (**Tabela 2**).

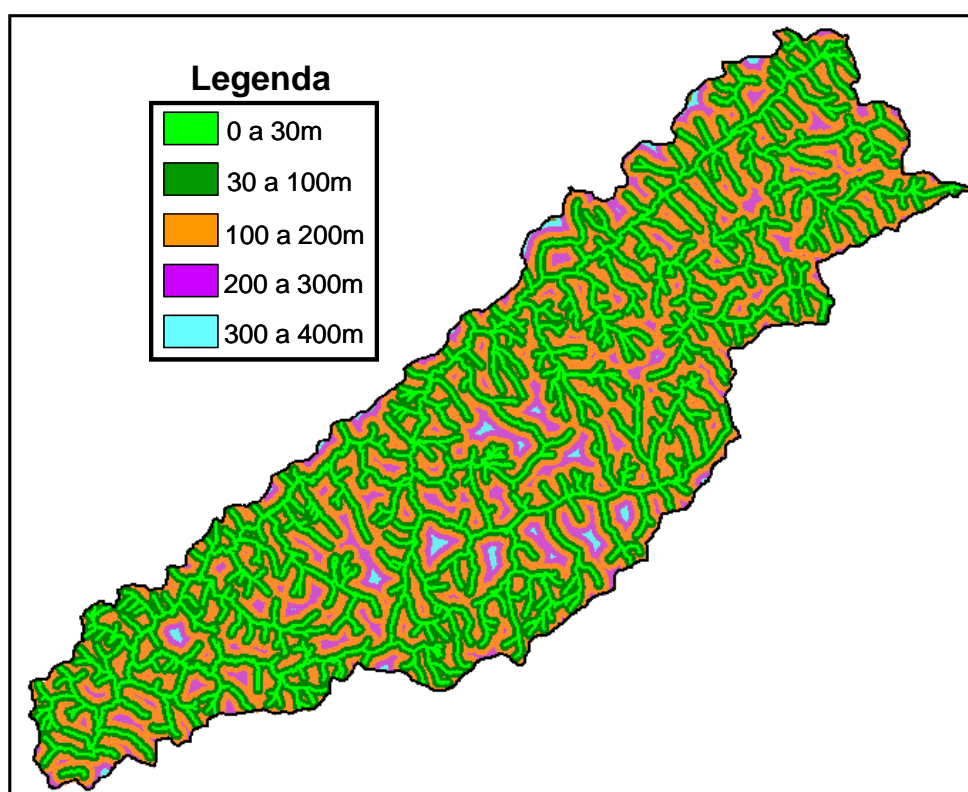


Figura 7. Distribuição das terras em relação à distância da rede de drenagem na microbacia do Pouso Frio, em Taubaté, SP.

Tabela 2. Distribuição das vias de acesso em relação à distância da rede de drenagem na microbacia do Pouso Frio.

Faixas de Proximidade	Vias Km	% das Vias nas Faixas
0-30m	34,3	19,8
30-100m	86,8	50,0
100-200m	42,7	24,6
200-300m	8,5	4,9
300-400m	1,1	0,6
400-500m	0,0	0,0
Total	173,4	100,0

A análise dos perfis da via existente em relação ao traçado alternativo demonstrou um acréscimo de 2.768 m na distância percorrida, passando de 18.358m no traçado existente para 21.126m no traçado alternativo, foi observado que o aclave passa de 9.546m no traçado existente para 9.950m no alternativo, o que representa um acréscimo de 404m de extensão com um desnível acumulado de 644m no traçado existente e 1.649m no alternativo, este dado representa um acúmulo de esforço equivalente a uma rampa contínua com 9,8% de declividade em todo o percurso do traçado alternativo (**Figura 8**).

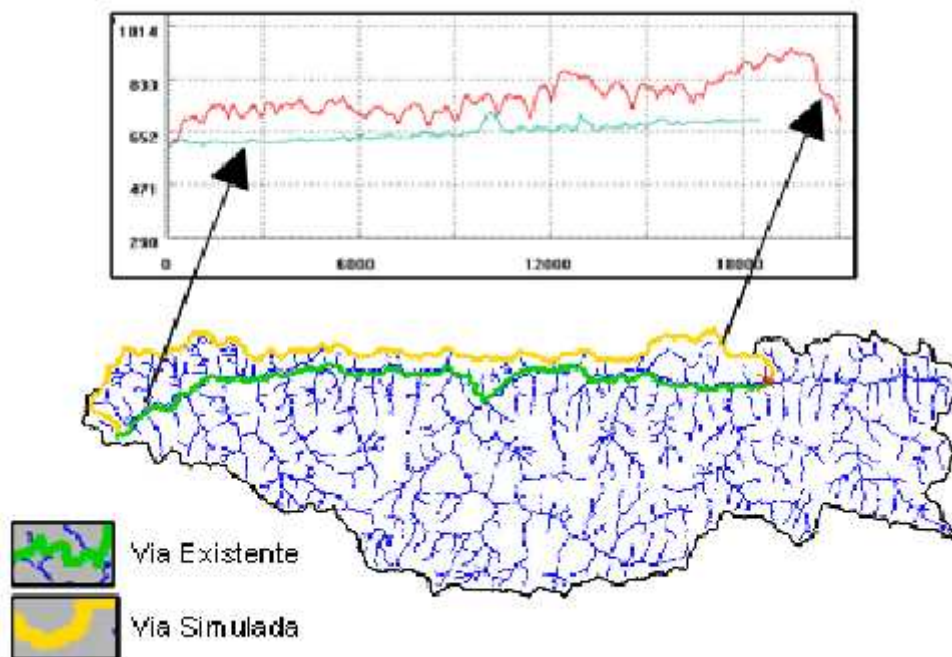


Figura 8. Traçado das vias analisadas e respectivo perfil altimétrico.

4. Considerações Finais

Os resultados deste trabalho permitiram observar que a densidade da malha viária da microbacia é maior no intervalo entre 0 a 100 metros de distância dos cursos d'água. Esse fato evidencia uma situação preocupante no que se refere ao transporte de sedimentos e aos riscos de assoreamento dos rios, especialmente pela ocorrência das vias nas extremidades inferiores do comprimento de rampas, ou seja, na região mais baixa do relevo, que corresponde à zona de maior acúmulo do escoamento superficial, o que potencializa a ação das enxurradas tanto na remoção quanto no transporte de material em direção aos cursos d'água.

Ficou evidenciado ainda que para vencer um mesmo deslocamento por um trajeto alternativo que não cruzasse a rede de drenagem, situado no início da zona de escoamento superficial, ou seja, na linha de cumeeada, e, portanto, que recebesse apenas a água da chuva que cai sobre si, sem contribuição de outras áreas, os custos de esforço calculados através de associações simples pela análise do perfil topográfico são muito superiores ao do traçado existente. É óbvio que o traçado ideal seria um intermediário que minimizasse o cruzamento de cursos d'água e não maximizasse o custo do transporte. Fica evidente, nesse trabalho, que a grande causa da carga de sedimentos que hoje o Rio Una apresenta, é devido à erosão de estradas vicinais e que obras de engenharia e esforços no planejamento de ações de mitigação e minimização de impactos ambientais e sociais decorrentes da má conservação de estradas rurais são essenciais no município de Taubaté, uma vez que a microbacia estudada, do Pouso Frio, é típica da bacia do Rio Una que ocupa cerca de 84% do município.

5. Referências

Câmara G., Souza R.C.M., Freitas U.M., Garrido J. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-June, 1996.

Carvalho, L. D. V. *Avaliação da viabilidade da melhoria do projeto geométrico e da conservação das estradas de terra*. 1992. 85 p. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos, USP – Universidade de São Paulo, São Carlos. 1992.

Catelani, C. S., Batista, G. T., Targa, M. S. Uso do geoprocessamento na determinação da distância entre estradas rurais e a drenagem de uma microbacia hidrográfica: Rio das Antas. In: Encontro de Iniciação Científica, 9., 2004, Taubaté. *Livro de Resumos*, p.139, Universidade de Taubaté (UNITAU), Taubaté, 2004.

CEPA – Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina. **Avaliação do Projeto Microbacias – Componente Estradas**. Florianópolis. 1999.

Cordeiro, J. P.; Amaral, S.; Freitas, U. M.; Câmara Neto, G. Álgebra de geo-campos e suas aplicações. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., 14-19 abr. 1996, Salvador. 1996. Artigos, p. 355-361. CD-ROM. Publicado como: INPE-6185-PRE/2274. Disponível na biblioteca digital *URLib*: <sid.inpe.br/deise/1999/02.01.16.51>. Acesso em: 17 nov. 2004.

CPTI - Cooperativa de Serviços, Pesquisas Tecnológicas e Industriais. **Plano das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul 2000-2003**. São Paulo:CPTI, 2001. CD-ROM.

IGC - Instituto Geográfico e Cartográfico. **Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, escala 1:10.000**. Coordenadoria de Ação Regional : Divisão de Geografia. São Paulo. 1978.

Nunes, T. V. L. **Método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra com base no uso das Redes Neurais Artificiais: Trecho de Aquiraz, CE**. Dissertação – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 2003.

Projeto Una. Estruturação e disponibilização do banco de dados ambientais da Bacia do Rio Una. Projeto financiado pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), SP, através do contrato n° 280/2002. <http://www.agro.unitau.br/una>, consulta em novembro de 2004.