



Microplanejamento de estradas florestais por meio de geotecnologias.

Carla Américo¹, Roberta Aversa Valente²

¹Universidade Federal de São Carlos (carla.americo@gmail.com)

² Departamento de Ciências Ambientais (DCA) da Universidade Federal de São Carlos
(roavalen@ufscar.br)

Resumo

As estradas florestais quando não são bem estruturadas e localizadas, tornam-se fontes potenciais de impactos ambientais, principalmente os relacionados à dinâmica de água e sedimentos. As análises ambientais subsidiam o planejamento dos diferentes usos do solo, contribuindo para o controle dos processos geodinâmicos indesejáveis, dentre os quais está o de erosão. Neste contexto, o estudo teve por objetivo a definição de áreas críticas à locação de estradas florestais, considerando aspectos do relevo, da hidrografia e dos solos de uma paisagem. Para isso, houve o mapeamento do solo, relevo e da hidrografia, sendo que os dois últimos permitiram a caracterização do escoamento superficial da água, da paisagem. A sobreposição destas características da paisagem (i.e. critérios para decisão) ocorreu por meio do método da Combinação Linear Ponderada, de Análise Multicriterial (AMC). O mapa final de áreas críticas permitiu, assim, a indicação de áreas adequadas para locação e manejo das estradas, visando à conservação tanto da água quanto do solo da paisagem em estudo.

Palavras-chave: Análise Multicriterial, Combinação Linear Ponderada; Conservação florestal.

Área Temática: Impactos ambientais

Forest road microplanning by means of geotechnology.

Abstract

The forest roads can become in potential sources of environmental impacts, which are mainly related with the water dynamic and sediments, when they are not well structured and allocated. The environmental analyses have supported the land-use management, contributing to the regulation of the undesirable geodynamic process as the erosion. In this context, the study aimed at the definition of critical areas to allocation the forest roads, considering landscape characteristic as the topographic, the hydrography and the soil. For this purpose, the soil, relief and hydrography mapping were carried out, and the last two allowed the characterization of the surface water flow of the landscape. The overlap of these landscape features (i.e. criteria for decision) occurred through the Weighted Linear Combination method of Multicriteria Analysis. The final map of critical areas allowed, therefore, the indication of suitable areas for allocation and management of the roads, aiming at the conservation of both the water and the soil of the landscape under study.

Key words: Multicriteria Analysis, Weighted Linear Combination, Forest Conservation.

Theme Area: Environmental impacts



1 Introdução

No setor florestal a rede viária é a principal base de toda a atividade, servindo para viabilizar o tráfego de mão-de-obra e os meios de produção necessários para implantação, proteção, colheita e transporte dos produtos florestais (OLIVEIRA et al., 2010).

As estradas não pavimentadas, em grande parte das vezes, são construídas sem um projeto geométrico de engenharia rodoviária, de dimensionamento transversal ou do sistema de drenagem. Essas, normalmente, possuem como pista de rolamento o solo do próprio local, podendo eventualmente ter recebido revestimento primário (OLIVEIRA et al., 2011).

A abertura de estradas pode causar danos na estrutura dos solos e no comportamento hidrológico das mesmas, o que tornam essas vias, vulneráveis a impactos ecológicos negativos. Hoje em dia, as estradas de uso florestal têm apresentado uma crescente preocupação nas áreas de planejamento das empresas, pois a sua construção e manutenção representam uma porção significativa no orçamento. Quanto melhor forem as condições da superfície dessas estradas, conseqüentemente, menor será o custo operacional do transporte.

As estradas em condições inadequadas, combinada com a periodicidade de uso e tráfego de máquinas pesadas, seja durante as atividades de plantio, de colheita ou transporte florestal, fazem com que impactos ecológicos como, por exemplo, os processos erosivos sejam potencializados, principalmente em períodos chuvosos. Segundo Abdi et al. (2012) um sistema de estradas bem planejado, projetado, construído e mantido é essencial para facilitar o manejo florestal e a proteção dos recursos naturais.

Na avaliação dos problemas relacionados à locação e manutenção da rede viária florestal necessita-se, assim, considerar conjuntamente os aspectos físicos da paisagem (i.e. solo, água e relevo) e os relacionados às condições das estradas, que são a manutenção dos trechos e sua disponibilidade para tráfego durante o ano. Com esta prévia avaliação é possível evitar impactos ambientais, tais como erosões e acúmulos de água e assim promover tanto a conservação do solo quanto da água da paisagem.

Neste contexto, o presente trabalho tem por principal objetivo definir áreas críticas à locação de estradas, por meio da Avaliação Multicriterial (método da Combinação Linear Ponderada), considerando aspectos do relevo, da hidrografia e dos solos de uma paisagem.

2 Material e Métodos

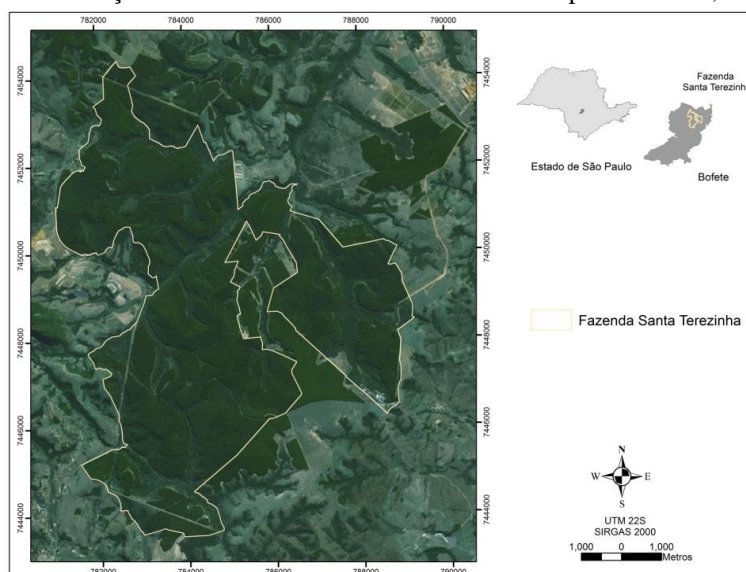
O estudo foi desenvolvido em uma fazenda de produção de madeira, conhecida como “Santa Terezinha” (Figura 1), localizada na região centro sul do estado de São Paulo, no município de Bofete. Sua área é 3909,12 ha, sendo ocupada predominantemente por plantios de eucaliptos, destinada ao abastecimento da indústria de painéis. Além dos plantios de eucaliptos, a fazenda possui áreas de vegetação secundária, localizadas em Áreas de Preservação Permanente (APP) e Vegetação Nativa.

O clima predominante segundo o sistema Köppen (1948) é do tipo Cwa, o qual é caracterizado como subtropical de altitude com chuvas no verão e seca no inverno. O município possui uma média de chuva anual igual a 1293 mm e as temperaturas variam em média entre 16.1 e 22.8°.

Os solos da área de estudo são constituídos de 47,47% por Argissolo, 7,75% por Latossolo, 7,24% por Neossolo e 37,54% da área apresenta unidade de mapeamento heterogênea sendo composta pelos tipos de solos Cambissolo, Neossolo e Argissolo.



Figura 1-Localização da Fazenda Santa Terezinha no município de Bofete, estado de São Paulo.



2.1 Diagnóstico da estrutura da paisagem

O mapa de uso e cobertura do solo, o qual permite o diagnóstico da estrutura da paisagem foi elaborado em dezembro de 2016, por meio de receptor GPS geodésico (precisão nominal de 12mm)

Os usos predominantes na fazenda são os plantios de eucaliptos que ocupam 56,79% da área total. A vegetação nativa ocupa 27,64%, seguida pela Área de Preservação Permanente, que corresponde a 8,48%.

A área experimental ocupa 1,04%, estoque de campo corresponde a 0,81% da área, seguidas de rede elétrica 0,43%, viveiro 0,27%, sede 0,11%, plantio de pinus 0,04%, pasto 0,02 % e lagoa/ lago 0,01%. Os aceiros correspondem a 3,89% e as estradas florestais, que são o principal objetivo deste estudo equivalem a 0,47 % da área total de estudo, o que equivale a 18,51 ha.

2.2 Caracterização dos parâmetros físicos da paisagem

Os parâmetros físicos da paisagem nomeados de critérios, em função de sua agregação com método de Avaliação Multicriterial (AMC), foram estabelecidos por meio de literatura e consulta a profissionais, sendo estes parâmetros a declividade, erodibilidade (fator K), distância ao fluxo acumulado de água e orientação de vertentes, sendo aqui apresentados em sua ordem de importância. Estes critérios foram gerados no SIG ArcGis 10.1.

O mapa de declividade foi gerado, tendo por base o Modelo Número do Terreno (MNT), o qual serviu para gerar os dois últimos critérios citados acima. Para o critério erodibilidade (fator K), foi realizada amostragem de solo para o cálculo da porcentagem de argila, areia e silte.

Para o cálculo do valor do fator K, utilizou-se a equação (eq.1) proposta por Bouyoucos, cujas variáveis são seus teores de areia, silte e argila:

$$Fator K = \frac{\frac{(\%areia + \%silte)}{\%argila}}{100} \quad eq. 1$$

Sendo: K = erodibilidade de determinado horizonte do solo (t.ha.h.ha-1.MJ-1.mm-1);



% Areia, % Silte e % Argila = porcentagens das respectivas frações para cada horizonte.

Para o estudo do parâmetro água foi preciso avaliar a hidrografia da fazenda. Assim foi calculado o fluxo acumulado com o qual foi possível identificar o nível de convergência entre rios e, com isso, distinguir características do comprimento da rampa e da curvatura horizontal (confluência e divergência da linha do fluxo).

Os planos de informações básicos para sua geração foram a rede hidrográfica e o MNT. Após o fluxo acumulado de água ter sido gerado, as drenagens foram extraídas por meio da calculadora raster dentro do próprio SIG. Com a extração do fluxo acumulado foi calculada a distância ao fluxo por meio da função “Patch distance”. Essa função calcula o menor custo em ir de um ponto a outro, mas tendo em conta a topografia e fatores horizontais, ou seja, ele permite inserir fatores limitantes para se obter a distância de um fluxo ao outro.

O critério orientação de vertentes de acordo com Florenzano (2008), é determinado por meio do grau de insolação devido ao movimento aparente do Sol durante o dia, ou seja, com esse critério é possível nos indicar as faces mais úmidas da área de estudo. Conhecendo os locais onde existe a tendência de maior retenção de umidade, é possível indicar os locais onde teremos maiores criticidades, principalmente em períodos chuvosos. Este foi gerado a partir também do MNT.

2.3 Mapeamento de áreas críticas à locação de estradas

A agregação dos critérios erodibilidade do solo, declividade, distância ao fluxo acumulado e orientação de vertentes, foi realizada por meio do método da Combinação Linear Ponderada (CLP), de avaliação Multicriterial (AMC). Segundo Valente e Vettorazzi (2013) o método da CLP é um dos mais empregados, no âmbito da AMC, visto sua simplicidade de utilização e os bons resultados que permite obter. Para a agregação dos critérios, o método pressupõe que (i) todos estejam na mesma unidade, cumprindo a etapa de normalização dos critérios; (ii) se conheça a importância relativa dos critérios, pela definição de seus pesos de fator; e (iii) se defina as restrições da área de estudo, ou seja, as áreas onde não se define um nível de criticidade com a agregação dos critérios.

2.4 Normalização dos critérios

A normalização ocorreu no próprio ambiente SIG IDRISI para uma escala variando de 0 a 255 níveis de cinza, por meio de funções de pertinências. Selecionou-se o tipo de função, após a avaliação da distribuição espacial dos critérios e de modo que se garantisse que, no mapa final, os locais mais críticos (sob o ponto de vista do critério) fossem associados aos maiores valores (255 bytes) na escala comum.

No processo de normalização dos critérios erodibilidade e declividade, utilizou-se uma função linear crescente, associando-se os maiores valores da escala aos maiores valores de K e declividade, respectivamente.

A normalização do critério distância ao fluxo acumulado de água realizou-se por meio de uma função linear decrescente. Dessa forma, os maiores valores da escala foram associados às áreas consideradas mais críticas, para o critério, que são aquelas mais próximas de onde se acumula mais fluxo de água.

De modo a facilitar a normalização do critério orientação de vertentes, primeiramente este mapa foi reclassificado em dois quadrantes (Q) sendo de 0-180° (Q1) e 180-360°(Q2), pois cada face da orientação de vertentes possui uma influência diferente para locação de estradas, indicando superfícies mais úmidas ou não.

Diante disso, para sua normalização utilizou-se uma função linear simétrica, sendo que



o quadrante Q1 (aumento da umidade) utilizou uma função crescente e, quadrante Q2 (redução da umidade) uma função decrescente, sendo assim os maiores valores da escala atribuídos às faces mais úmidas do terreno.

2.5 Importância dos critérios – pesos de fator

Considerando os quatro critérios pré-estabelecidos e considerando a literatura de AMC (MALCZEWSKI 1999, MALCZEWSKI e RINNER 2015, VETTORAZZI e VALENTE 2016), além de ranquear os critérios foi utilizado o tradicional método da Comparação Pareada para a definição dos pesos de fator. A ordem de ranqueamento (importância dos fatores) obtida, consultando literatura e especialistas, foi declividade, erodibilidade, distância ao fluxo acumulado e orientação de vertentes (Tabela 1). Já os pesos de fator foram gerados por meio do método da Comparação Pareada, desenvolvido por Saaty (1977), no contexto do Processo Hierárquico Analítico. O método baseia-se na elaboração de uma matriz de comparação, onde os valores atribuídos aos critérios são derivados de uma escala contínua de nove pontos. Com base nesta escala, os critérios são comparados entre si, dois a dois, e classificados segundo a importância relativa entre eles (EASTMAN, 2012).

Tabela 1- Matriz de comparação pareada entre os mapas de critérios, para a Fazenda Santa Terezinha no município de Bofete, estado de São Paulo.

Critérios	Declividade	Erodibilidade	Distância ao fluxo acumulado	Orientação de vertentes	Pesos de fator
Declividade	1				0,3120
Erodibilidade	1	1			0,2804
Distância ao fluxo acumulado	1	1	1		0,2804
Orientação de vertentes	1/3	1/2	1/2	1	0,1272
Taxa de Consistência (TC) = 0,01					1

De acordo com a escala de nove pontos, o valor um (1) indica que dois critérios são “igualmente” importantes e o valor nove (9) implica que um critério é “extremamente” mais importante que o outro. Calcula-se, a partir da matriz quadrada, a Taxa de Consistência (TC), esse valor de acordo com Saaty (1977) indica a probabilidade de que as classificações foram atribuídas aleatoriamente, e valores inferiores a 0,10 indicam boa consistência quando os valores excedem 0,10, a matriz quadrada deve ser reavaliada.

2.6 Agregação dos critérios

Os critérios normalizados na escala 0-255 bytes foram agregados com o método da CLP, desenvolvido por Voogd (1983). Segundo o método ocorre a multiplicação dos mapas (operação pixel a pixel) por seus respectivos pesos (importância), somando-se os resultados, como indicado na equação 2. Neste estudo, a equação foi desenvolvida na calculadora do SIG.

$$S = \sum_{i=1}^n w_i X_i * \prod_{j=1}^k c_j \quad \text{eq.2}$$

Sendo: S: valor final do score; w_i : peso do parâmetro fator i (com $i=1,...,n$); n : número de critérios; x_j : valor normalizado para o mesmo fator; c_j : score (0 ou 255) do parâmetro exclusão (com $j=1,...,k$); e k : número de parâmetros de exclusão.

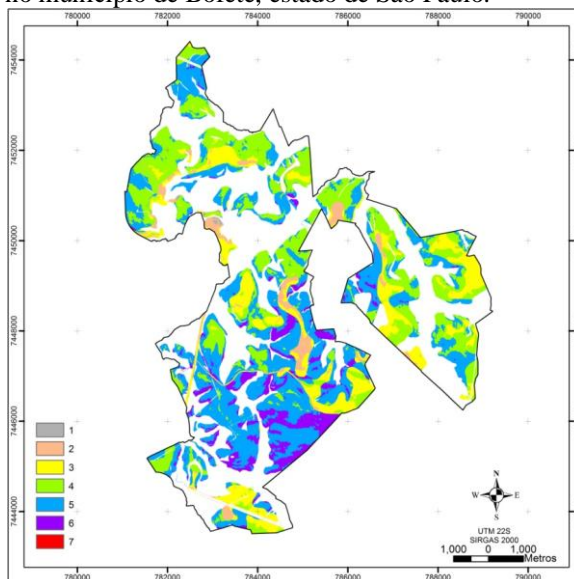


Os mapas de áreas críticas foram reclassificados em sete classes de prioridades a partir da avaliação dos histogramas dos mapas (0-255 bytes). Como proposto por Vettorazzi e Valente (2016) uma mesma classe de prioridade apresenta homogeneidade de frequência de distribuição dos pixels.

3 Resultados

A análise visual do mapa com os sete níveis de criticidade, possibilita uma melhor inferência sobre sua adequação. A partir do mapa com risco médio em classes (Figura 2), constatou-se que 0,19% da fazenda foi classificada como sendo nível 1 de criticidade; 4,42% nível 2; 16,56% nível 3; 31,44% nível 4; 38,85% nível 5; 8,52% nível 6 e 0,02% nível 7. Essa porcentagem é referente a 2465.29 ha, ou seja, a área que se excluem os usos APP, vegetação nativa, sede, viveiro, rede elétrica e lagos/lagoas, onde não haverá locação de estradas.

Figura 2- Áreas à locação de estradas florestais, em níveis de criticidade, para Fazenda Santa Terezinha no município de Bofete, estado de São Paulo.



O uso estradas florestais foi extraído da Figura 2 (acima) para que fosse possível contabilizar o nível de criticidade das estradas existentes. A partir deste mapa constatou-se que 0,42% da fazenda foi classificada como sendo nível 1 de criticidade; 9,79% nível 2; 21,85% nível 3; 22,34% nível 4; 34,48% nível 5; 11,01% nível 6 e 0,12% nível 7. Essa porcentagem é referente à 170,56 ha, ou seja, a área referente apenas dos aceiros, carreadores e estradas florestais existentes atualmente na área de estudo.

Avaliando a expressividade de cada classe de criticidade, para a área total e somente para a área das estradas florestais existentes é possível afirmar que os níveis de menor e maior criticidade apresentaram um comportamento inexpressivo diante dos demais níveis de criticidade, tanto em área total (0,19% e 0,02 %, respectivamente) quanto quando somente contabilizado as estradas existentes atualmente (0,42% e 0,12%, respectivamente). A classe mais representativa tanto em área total (38,85%) quanto em área das estradas (34,48%) foi o nível de criticidade 5. Observa-se que a classe 4 a qual denota um nível de criticidade médio é representado por 31,44% em área total e 22,34% considerando somente as estradas.

A espacialização corrobora com o que foi definido pelo processo de tomada de decisão, uma vez que as áreas mais críticas estão associadas às maiores declividades e valores



de erodibilidade (fator k), menores distâncias ao fluxo acumulado de água e zonas mais úmidas (orientação de vertentes), ou seja, nestas áreas foram associadas aos maiores valores da escala 0 a 255 bytes.

Considerando o mapa final (Figura 2), é possível destacar outra característica relacionada ao método CLP, que é o pressuposto da compensação total entre os critérios. A principal consequência é que não há controle sobre as influências de cada critério no processo de tomada de decisão, como foi constatado neste estudo. No entanto, mesmo sob estas condições, o método da CLP de acordo com Valente e Vettorazzi (2013) é um dos mais empregados, no âmbito da AMC, visto sua simplicidade de utilização e os bons resultados que permite obter.

Autores como Boroushaki e Malczewski (2008), Valente e Vettorazzi (2013) indicaram que os mapas desenvolvidos por meio do método da CLP têm uma tendência para a generalização com uma alta porcentagem de área classificada como prioridade média. Por esta razão, eles apresentam soluções "não arriscadas" para o processo de tomada de decisão.

A classe de prioridade média é representada por 31,44% em área total e 22,34% contabilizando somente as estradas florestais existentes atualmente, o que representa áreas de espacialização não generalistas.

Pode-se inferir que a principal diferença desse problema de decisão foi o detalhamento do banco cartográfico deste estudo que teve como resolução espacial de 5 metros (a mesma resolução do MNT gerado), a qual é considerada de alta resolução. Assim, essa característica contribuiu, juntamente com os critérios e pesos, para minimizar a tendência da CLP, que é gerar uma alta porcentagem de áreas classificadas com criticidade/ prioridade média, assim como observado também em estudos de Valente et al. (2017) e Silva et al. (2017). Portanto, a partir das discussões e verificações de campo é possível afirmar que a estrutura predefinida para o estudo (método AMC, critérios e pesos) propôs um cenário para áreas críticas que permitem conduzir as ações para obter os melhores locais para se alocar estradas.

4 Considerações finais

O método tradicional da Análise Multicriterial permitiu, neste estudo, atribuir a importância aos critérios e isso era essencial para determinar áreas críticas próximas ao fluxo acumulado de água e considerando ainda a erodibilidade e umidade dos solos, assim como a declividade do local que influencia fortemente a construção e manutenção de estradas florestais. Deste modo, os quatro critérios selecionados para indicar áreas críticas a locação de estradas representam as características críticas, que queríamos estabelecer, visando à conservação da água e do solo da paisagem.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP por bolsa de mestrado concedida à primeira autora (Processo 2016/ 17117-6).



Referências

- ABDI, E.; SISAKHT,S.R.;GOUSHBOR,L.; SOUFI, H. Accuracy assessment of GPS and surveying technique in forest road mapping. **Annals of Forest Research**,55: p. 309–317, 2012.
- EASTMAN, J. R. **IDRISI selva: guide to GIS and image processing**. 2012, 322p.
- KÖPPEN J.W. **Climatología con uno Estudio de los Climats de la Tierra**. Mexico: Fondo de Cultura Econômica,1948. 478p.
- MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**,New York:John Wiley, 1999. 362p.
- MALCZEWSKI,J.;RINNER,C. **Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science**. London: Springer, 2015. 331p.
- BOROUSAKI, S., MALCZEWSKI, J., 2010. Using the fuzzy majority approach for GIS-based multicriteria group decision-making. **Computers e Geosciences**,v. 36, n. 3, p. 302-312.
- OLIVEIRA, F. P. de et al. Avaliação de perdas de solo em estradas florestais não pavimentadas no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p.331-339, 2010.
- OLIVEIRA, J.F.de;GRIEBELE,N.P.;GARVIL,R.A.;OLIVEIRA,J.deM.;RABELO,M.W de O. Uso do software Estradas para determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas do interior de Goiás. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 1, p.17-22, 2011.
- SAATY,T. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, Philadelphia, v.15, p.234-281,1977.
- SILVA, V.A.M.; MELLO, de K.; VETTORAZZI, C.A.; COSTA,D.R. da C.; VALENTE, R.A. Priority areas for forest conservation, aiming at the maintenance of water resources, through the multicriteria evaluation. **Revista Árvore**, v.41 (1), p 1-10,2017.
- VALENTE, R.A.; PETEAN, F.C. de S; VETTORAZZI, C.A. Multicriteria Decision Analysis for prioritizing areas for forest restoration. **Revista Cerne**, v.23 n.1, p. 56-60, 2017.
- VALENTE, Roberta de Oliveira Avena; VETTORAZZI, Carlos Alberto. Avaliação multicriterial na definição de áreas prioritárias à restauração florestal, visando ao manejo sustentável da água. **In: Sustentabilidade do uso da água nos trópicos e subtrópicos: estudos de casos brasileiros**[S.l: s.n.], p. 408 , 2013.
- VETTORAZZI, C.A.;VALENTE, R. A. Priority areas for forest restoration aiming at the conservation of water resources. **Ecological Engineering**, v. 94, p. 255-267, 2016.
- VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, 1983. p. 125.