

IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS POTENCIAIS PARA CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS UTILIZANDO DADOS LIDAR

Irene Maria Barcelos Barbosa ¹, Alexandre Soares Campos Filho ¹, Anne Laura da Silva ¹e
Gustavo Eduardo Marcatti ¹

¹ Universidade Federal de São João Del-Rei - UFSJ/CSL, Rodovia MG 424 – Km 47, Sete Lagoas - MG, Brasil; barbosa.irenemb@gmail.com; alexscamposfilho@gmail.com; annelsilva11@gmail.com; gustavomarcatti@ufsj.edu.br

RESUMO

As estradas florestais são consideradas como um dos fatores que mais contribuem para o custo total de transporte madeireiro. O traçado de estradas geralmente é feito utilizando o relevo como referência e considerando alguns critérios para alocação. A metodologia atual, apesar de amplamente utilizada, é subjetiva e utiliza parâmetros visuais, correndo-se o risco de gerar traçados de elevado custo e distante da solução ótima. O objetivo do presente trabalho foi identificar locais potenciais para a construção de estradas utilizando dados derivados de LiDAR. A identificação foi realizada utilizando três fatores que são considerados importantes para a alocação: inclinação do terreno, o uso da terra, e a fragilidade ambiental. Os fatores foram reclassificados quanto a sua relevância, e gerou-se a superfície de custo. A partir da superfície de custo, foi possível gerar traçados de custo mínimo ótimo, condizentes com a realidade e de forma eficiente computacionalmente.

Palavras-chave — Dijkstra, custo mínimo, transporte florestal, análise multicritério, fragilidade ambiental.

ABSTRACT

Forest roads are considered one of the factors that contribute most to the total cost of logging. Road alignment is usually done using the relief as a reference and considering some criteria for allocation. The current methodology, although widely used, is subjective and uses visual parameters, running the risk of generating alignments of high cost and distant from the optimal solution. The objective of the present work was to identify potential sites for the construction of roads using data derived from LiDAR. The identification was made using three factors that are considered important for the allocation: land slope, land use, and environmental fragility. The factors were reclassified as to their relevance, and the cost surface was generated. From the cost surface, it was possible to generate alignment of optimal minimum cost, consistent with reality and computationally efficient.

Key words — Dijkstra, minimum cost, forest transport, multi-criteria analysis, environmental fragility.

1. INTRODUÇÃO

As estradas rurais e florestais são fundamentais para o desenvolvimento econômico e social de uma região, pois possibilitam o acesso à educação, saúde e lazer disponíveis nas cidades, e são consideradas como a principal via de integração entre as regiões, e de extrema importância para o escoamento da produção industrial, agrícola e florestal [1] e [2].

As estradas florestais são responsáveis pela ligação entre as unidades produtoras e as rodovias pavimentadas, ou entre as florestas das empresas e as indústrias de beneficiamento da madeira [3]. De acordo com [4], a colheita e o transporte de madeira são considerados as etapas mais importantes no processo produtivo de madeira, pois são processos que tem participação significativa no custo final do produto e são passíveis de sofrer perdas durante sua realização. [5] também afirma que as estradas são consideradas um dos fatores que mais contribuem para o custo total de transporte madeireiro, e além dos custos financeiros, podem causar danos ambientais como erosão, degradação, fragmentação e perda de habitats [6], [7] e [8].

[2] afirma que os primeiros passos para a realização das operações de colheita e transporte florestal são a alocação e construção das estradas florestais. A escolha do traçado da estrada é de extrema importância, pois está diretamente associada a riscos de impactos ambientais e sociais. Um fator importante na logística e transporte florestal, é estabelecer o local mais adequado para alocar novas estradas [9].

O planejamento das estradas florestais deve considerar fatores importantes para sua construção como, relevo, uso da terra, os recursos hidrológicos, as áreas de proteção, a biodiversidade, bem como as necessidades socioeconômicas, que irão interferir diretamente nos estudos, projetos, construção e operações, possibilitando a realização de medidas mitigadoras dos impactos causados pelo empreendimento [2].

Atualmente não existe uma metodologia de traçado geométrico padronizado, que seja específico e atenda as condições de cada terreno, devido à alta variação quanto ao padrão e ao tipo e densidade das estradas florestais. O traçado geralmente é feito utilizando o relevo como referência e considerando alguns critérios para alocação, tais como:

escolher os pontos mais baixos no terreno, avaliação da densidade ótima de estradas e algumas situações típicas encontradas no ambiente [2].

A metodologia atual para alocação de estradas, apesar de amplamente utilizada, é subjetiva e utiliza parâmetros visuais, correndo-se o risco de gerar traçados de elevado custo e distante da solução ótima. Além disso, não considera fatores relevantes para a construção da estrada. Diante do exposto, este trabalho teve o objetivo de propor um método para identificar locais potenciais para a construção de estradas utilizando dados derivados de LiDAR.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Estudo de caso

Para avaliar a metodologia de identificação de locais potenciais para construção de estradas foi formulado o seguinte problema: determinar o local ideal para construção de uma estrada florestal, para interligar uma estrada já existente (feição espacial vetorial do tipo linha) a um projeto florestal. Foram disponibilizadas três alternativas para entrada do projeto (feição espacial vetorial do tipo linha).

2.2. Descrição dos dados

A identificação de locais potenciais para a construção de estradas foi realizada considerando três fatores: a inclinação do terreno, o uso da terra e a fragilidade ambiental. Para o cálculo da inclinação do terreno (Figura 1b) foi utilizado um modelo digital de terreno (MDT) derivado de dados LiDAR (*Light Detection And Ranging*), no formato raster com pixel de tamanho 1x1m (Figura 1a). Esses dados foram obtidos via download na plataforma online OpenTopography [10], essa plataforma disponibiliza gratuitamente dados topográficos de elevada resolução espacial. Os dados de uso da terra foram gerados de forma fictícia, as seguintes classes foram criadas: mata nativa, eucalipto, pastagem e agricultura (Figura 1c). A fragilidade ambiental pode ser definida considerando diversos aspectos, porém neste trabalho foram criadas apenas duas classes de fragilidade: frágil – áreas de preservação permanente (APP's) referentes aos cursos d'água; e não frágil – todo o restante da área de estudo (Figura 1d). Para delimitar as APP's foi utilizado o curso d'água como referência, esse curso foi obtido numericamente via MDT [11].

2.3. Metodologia

Etapa 1: Reclassificação dos fatores – Cada um dos fatores foram reclassificados em valores de custo, variando de 1 até 10. A inclinação do terreno foi reclassificada da seguinte forma: **0 – 4:** 1, **4 – 6:** 2, **6 – 8:** 4, **8 – 12:** 6, **12 – 88:** 10. As classes do fator uso da terra receberam os seguintes custos: **Pastagem:** 1, **Eucalipto:** 3, **Agricultura:** 4, **Nativa:** 10. Já as classes de fragilidade ambiental: **Não Frágil:** 1, **Frágil:** 10.

Etapa 2: Superfície de custo – A superfície foi gerada utilizando o procedimento de combinação linear ponderada. Essa técnica pertence à classe de análises multicritério e é amplamente utilizada em diversas aplicações, sobretudo quando associada a Sistemas Informações Geográficas (SIG). Cada um dos fatores recebeu o mesmo valor de influência (peso) na construção da superfície de custo, os valores finais, após a combinação, variaram de 1 a 10.

Etapa 3: Caminho de custo mínimo – Nesta etapa foi executado o algoritmo de Dijkstra. Esse algoritmo é amplamente utilizado para resolver problemas desta natureza. No presente estudo foi utilizada a implementação, utilizando estrutura de dados Heap de Fibonacci, disponibilizada na biblioteca Scipy [12] da linguagem de programação Python. A aplicação do algoritmo requer a construção de estrutura de grafo (composta por V vértices conectados por E arcos, em que V e E são as quantidades de vértices e arcos, respectivamente) com os valores de impedância (custo) atribuídos aos arcos. O custo associado a cada arco pode ser obtido a partir da distância entre pixels adjacentes, tanto na horizontal/vertical quanto na diagonal, e dos custos associados a cada pixel, derivados da superfície de custo [13]. Além da estrutura de grafo, é necessário definir o ponto de início e de chegada para execução do procedimento de caminho de custo mínimo. No presente estudo o ponto de início foi representado pelos vértices referentes a cada um dos pontos alternativos para entrada no projeto, já o ponto de chegada foi representado pelos vértices referentes a cada um dos pixels ao longo da estrada preexistente.

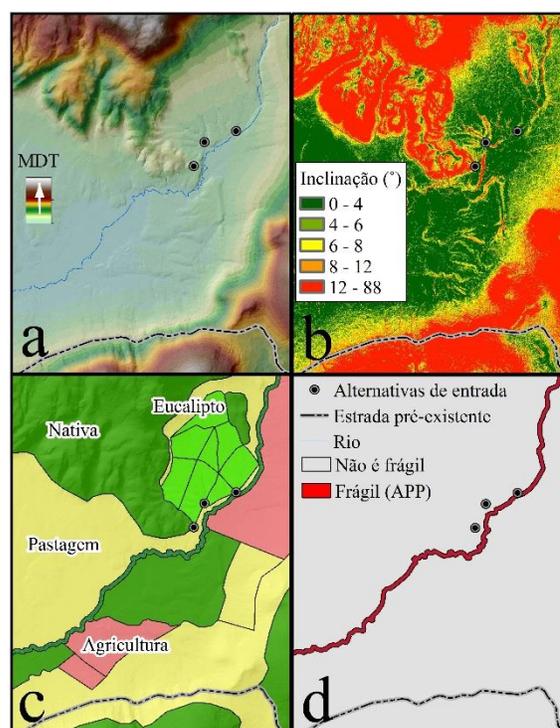


Figura 1. Modelo digital do terreno (a), inclinação do terreno (b), usos da terra (c), e fragilidade ambiental (d).

3. RESULTADOS

A superfície de custo, gerada via combinação do uso da terra, fragilidade ambiental e inclinação terreno, pode ser observada na Figura 2a. Os maiores valores de custo (≥ 7) foram encontrados nos locais com presença de mata nativa combinada com áreas de preservação permanente (frágil) e/ou inclinação do terreno elevada. Já os locais de custos menores, são caracterizados pela combinação de pastagem e inclinação do terreno menos elevada.

A Figura 2b identifica os locais potenciais para a construção de estradas. Foram gerados três possíveis trajetos de custo mínimo, um para cada alternativa de entrada para o projeto florestal. O trajeto 1 foi o de menor custo, apesar de apresentar maior comprimento e percorrer maior distância no uso de agricultura (725 m). O menor custo foi devido a baixa inclinação do terreno no percurso do trajeto. Já o trajeto 3 foi o de maior custo, mesmo apresentando o menor comprimento. Esse custo foi devido a elevada inclinação do terreno no percurso, sobretudo próximo da estrada preexistente. O trajeto 2 foi semelhante ao 3, porém apresentou menor custo devido a menor distância percorrida no uso de agricultura, 592 m contra 690 m do trajeto 3.

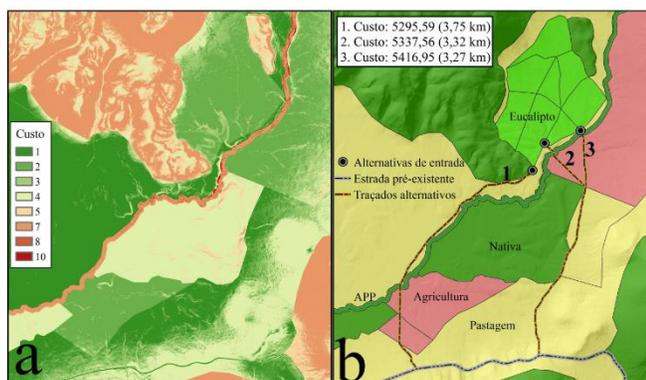


Figura 2. Superfície de custo (a). Caminhos de custo mínimo para cada uma das três alternativas de entrada para o projeto florestal (b).

4. DISCUSSÃO

A superfície de custo gerada demonstrou ser útil na determinação do local com potencial para a alocação da estrada, pois considera fatores sensíveis e dominantes relacionados aos custos de construção de estradas.

O procedimento não considera a realização de obras de terraplanagem (corte e aterro), mas considera a inclinação do terreno, que é de extrema importância para os estudos dessas obras, e que, de acordo com [14], o ângulo de inclinação é aceito como o principal parâmetro de análise de estabilidade de taludes.

Quanto à utilização da terra, sua importância se deve ao fato de haver diferença monetária de custo conforme o uso. Áreas de pastagens receberam o menor peso pois tendem a apresentar menor custo quando comparadas as áreas de

agricultura. Áreas de pastagens destinadas à pecuária geralmente são conduzidas utilizando-se de menor quantidade de insumos, de tecnologia e de mão de obra, podendo ser utilizadas de forma extensiva [15].

As áreas de floresta nativa receberam um peso maior devido à sua importância para o ecossistema, pois elas desempenham diversas funções eco-hidrológicas no ambiente, como a regulação do fluxo hídrico, o controle de erosão e contenção de sedimentos que, consequentemente influenciam nos aspectos físico-químicos dos cursos d'água [16], bem como a conservação da biodiversidade [17].

A consideração de fragilidade ambiental se deve ao fato de que as estradas são consideradas um dos elementos com maior capacidade de ocasionar degradação em ambientes rurais [18], e em se tratando de áreas frágeis, essa capacidade pode ser potencializada. De acordo com [7], é importante considerar os efeitos da construção de estradas sobre os aspectos ambientais, pois elas influenciam diretamente na degradação do solo, causando uma queda na fertilidade das áreas erodidas ao redor das estradas. [8] afirma que a infraestrutura de transporte impacta diretamente o ambiente, levando a danos em habitats, degradação e fragmentação.

A superfície de custo (Figura 2a) em si já pode ser útil para alocação de uma estrada utilizando um procedimento visual, pois fornece informação do custo associado a cada pixel. Porém, não seria a estratégia mais indicada, pois existem uma quantidade muito grande de possíveis alternativas de traçados. Assim, o mais recomendado seria a adoção de um procedimento de otimização, mais especificamente um algoritmo que minimiza o custo em uma superfície, tal como o algoritmo de Dijkstra. Esse algoritmo é caracterizado por retornar o caminho de custo mínimo ótimo de forma bastante eficiente [19], mesmo para superfícies de custo com grande volume de dados (assim como superfícies derivadas de dados LiDAR), sobretudo quando implementado utilizando a estrutura de dados Heap de Fibonacci [19].

Os traçados obtidos são ótimos, e além disso são realistas, isto é, são passíveis de serem implementados na prática. Essa característica também se deve ao fato da utilização de dados derivados de LiDAR para gerar a superfície de custo, especificamente para o fator inclinação do terreno. De acordo com [20], o LiDAR tornou-se uma das técnicas mais confiáveis, rápidas e precisas para obtenção de dados topográficos.

Além de não contemplar operações de terraplanagem, o método proposto ainda apresenta outras limitações. Como o fato da combinação linear ponderada ser considerada subjetiva, devida à atribuição de pesos aos fatores e das classes que os compõe. Alguns procedimentos como atribuir valores monetários aos fatores e simular combinações de pesos realizando uma análise de sensibilidade, podem ser estudados para que seja possível avaliar o efeito dos pesos e consequentemente reduzir a subjetividade.

5. CONCLUSÕES

A metodologia proposta pode ser útil para a identificação de locais potenciais para alocação de estradas florestais, pois combina fatores relevantes para sua construção (inclinação terreno, uso da terra e fragilidade ambiental) em uma única superfície de custo com elevado nível de detalhe. A partir da superfície de custo, foi possível gerar traçados de custo mínimo ótimo, condizentes com a realidade e de forma eficiente computacionalmente, mesmo utilizando como base, dados extremamente refinados.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Trindade, T.P.; Lima, D.C.; Machado, C.C.; Carvalho, C.A.B.; Schaefer, C.E.G.R.; Fontes, M.P.F. e Canesch, F.P., Estudo da durabilidade de misturas solo-RBI Grade 81 com vistas à aplicação em estradas florestais e camadas de pavimentos convencionais. *R. Árvore*, v. 29, n. 4, pp. 591-600, 2005.
- [2] Machado, C.C., Construção e conservação de estradas rurais e florestais. In: Machado, C.C. (Ed.); Planejamento de estradas florestais. UFV, pp.441, 2013.
- [3] Silva, M.L.; Oliveira, R.J.; Valverde, S.R.; Machado, C.C. e Pires, V.A.V., Análise do custo e do raio econômico de transporte de madeira de reflorestamentos para diferentes tipos de veículos. *Árvore*, v. 31, n. 6, pp. 1073-1080, 2007.
- [4] Machado, C.C. e Lopes, E.S., Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. *Cerne*, v. 6, n. 2, pp.124-129, 2000.
- [5] Akay, A.E., Minimizing total costs of forest roads with computer-aided design model. *Sadhana*, v. 31, n. 5, pp. 621-633, 2006.
- [6] Freitas, S.R.; Hawbaker, T.J. e Metzger, J.P., Effects of roads, topography, and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management*, v. 259, ed. 3, pp. 410-417, 2010.
- [7] Yousefi, S.; Moradi, H.; Jan. B. e Schönbrodt-Stitt, S., Effects of road construction on soil degradation and nutrient transport in Caspian Hyrcanian mixed forests. *Geoderma*, v. 284, pp. 103-112, 2016.
- [8] Karlson, M.; Mörtberg, U. e Balfors, B., Road ecology in environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 48, pp. 10-19, 2014.
- [9] Portugal, C.R.M.; Machado, C.C. e Silva, E., Gestão ambiental e impactos em estradas rurais e florestais. In: Machado, C.C. (Ed.); Construção e conservação de estradas rurais e florestais. UFV, pp. 441, 2013.
- [10] Opentopography., A Portal to High-Resolution Topography Data and Tools. Acesso em: 01/07/2018.
- [11] Figueiredo, E.O, Diagnóstico da hidrografia da área do manejo florestal. In: Figueiredo, E.O.; Braz, E.M. e Oliveira, M.V.N. d' (Ed.). Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal. Embrapa Acre, pp. 65-82, 2009.
- [12] Jones, E.; Oliphant, T. e Peterson, P., SciPy: Open source scientific tools for Python, 2001. URL <http://www.scipy.org>, 2001.
- [13] Ribeiro, C.A.A.S.; Marcatti, G.E.; Munaretti, A.E.; Silva, K.E.; Almeida, D.R.A.; Vasconcelos, R.S. e Neto, E.L.V., Otimização do traçado de trilhas para acesso a recursos florestais naturais. *Embrapa*, n. 134, ISSN 1517-3135, 2017.
- [14] Van Westen, C.J.; Castellanos, E. e Kuriakose, S. L., Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. *Engineering Geology*, v.102, n. 3-4, pp. 112-131, 2008.
- [15] Dias-Filho, M.B., Diagnóstico das Pastagens no Brasil. EMBRAPA, Documentos 402, ISSN 1983-0513, 2014.
- [16] Lima, W.P.; Ferraz, S.F.B. e Ferraz, K.M.P.M., Interações bióticas e abióticas na paisagem: uma perspectiva eco-hidrológica. In: Calijuri, M.C. e Cunha, D.G.F. (Ed.) Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão. Elsevier, p.215-44, 2013.
- [17] Borges, L.A.C.; Rezende, J.L.P.; Pereira, J.A.A.; Júnior, L.M.C. e Dalmo, A.B., Áreas de preservação permanente na legislação ambiental brasileira. *Ciência Rural*, v.41, n.7, 2011.
- [18] Thomaz, E.L. Análise empírica da fragilidade potencial da bacia do Rio Iratim, Guarapuava-PR. São Paulo. 188 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, área Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, USP, 2000.
- [19] Cormen, T.H.; Leiserson, C.E., Rivest, R.L. e Stein. C., Introduction to Algorithms. MIT Press, pp. 1312, 2009.
- [20] Findley, D.J.; Cunningham, C.M. e Humme, J.E., Comparison of mobile and manual data collection for roadway components. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 19, n. 3, pp. 521-540, 2011.