REVISTA DE GESTÃO E SECRETARIADO

ISSN: 2178-9010
DOI:
http://doi.org/10.7769/gesec.v15i4.3633

Otimização de rotas de transporte em estradas florestais: um estudo de caso em Paraopeba/MG

Optimization of transport routes on forest roads: a case study in Paraopeba/MG

Optimización de rutas de transporte en caminos forestales: un estudio de caso en Paraopeba/MG

Marcos de Paulo Ramos[1]

Isabella Alves Gonçalves[2]

Marcelo Antonio Nero[3]

Thiago Pena Bortone[4]

Rachel Jardim Martini[5]

Plinio da Costa Temba[6]

Resumo

As estradas florestais desempenham um papel crucial na ligação entre as áreas de cultivo e os locais de armazenamento e processamento. Devido à importância significativa das estradas para o setor florestal e a necessidade de reduzir os custos das operações florestais relacionadas à logística, a proposta de alternativas para otimizar as rotas dos veículos de carga ao longo de uma rede de estradas, com o objetivo de minimizar as distâncias, constitui um problema muito comum na tomada de decisões. Este trabalho tem como objetivo estudar e determinar as

[1]Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. E-mail: marcos.ramos@cefetmg.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-3296-6590
[2]Especialista em Gestão de Projetos, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (USP), Curvelo, Minas Gerais, Brasil.E-mail: isabella.alvesgoncalves@outlook.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0000-9041-2698
[3]Doutor em em Engenharia de Transportes, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. E-mail: marcelo.nero@gmail.com Orcid: https://orcid.org/0000-0003-2124-5018
[4]Mestre em Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. E-mail: thiago.bortone@cefetmg.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-3684-7783
[5]Doutora em Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.E-mail: martini@cefetmg.br Orcid: https://orcid.org/0000-0002-2639-0532
[6]Doutor em Engenharia Civil. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. E-mail: temba.mobile@gmail.com Orcid: https://orcid.org/0000-0002-4673-2915

melhores rotas de transporte de madeira em estradas florestais utilizando ferramentas de análise e roteirização baseadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Para isso, foram empregadas ferramentas de análise espacial, preparação dos dados com o uso de técnicas de geoprocessamento, fragmentação da rede viária em "arcos-nós", visitas a campo, definição dos pontos de origem e destino e a ferramenta de análise de rede Network Analyst, uma extensão do SIG ArcGIS. As novas rotas simuladas possibilitaram o transporte de madeira até a planta de carbonização com menor distância, maior segurança e menor tempo de percurso, além de possibilitar a classificação das estradas florestais. As análises realizadas permitiram a criação de um modelo de geoprocessamento que poderá ser aplicado em outras áreas para aprimorar e/ou otimizar as rotas de transporte em estradas florestais. Portanto, o método utilizado é adequado para o planejamento e determinação das melhores rotas de transporte em estradas florestais, mostrando-se de grande importância para o desenvolvimento tecnológico e a competitividade do processo logístico, visando uma maior eficiência no transporte de qualquer tipo de carga.

Palavras-chave: Estradas Florestais. Análise de Rede. Melhores Rotas. Rotas de Transporte.

Abstract

Forest roads serve as a crucial link between cultivation areas and storage/processing facilities. Due to the significant importance of roads in the forestry sector and the need to reduce costs related to forestry operations associated with logistics, proposing alternatives to optimize the routes of cargo vehicles along a road network with the aim of minimizing distances is a common problem in decision-making. This work aims to study and determine the best routes for transporting wood on forest roads using Geographic Information Systems (GIS)-based analysis and routing tools. To achieve this, spatial analysis tools were employed, data was prepared using geoprocessing techniques, the road network was segmented into "arc-nodes," field visits were conducted, origin and destination points were defined, and the Network Analyst tool, an extension of ArcGIS GIS software, was used. The newly simulated routes allowed for the transportation of wood to the carbonization plant with shorter distances, increased safety, reduced travel time, in addition to enabling the classification of forest roads. The analyses carried out led to the creation of a geoprocessing model that can be applied in other areas to improve and/or optimize transportation routes on forest roads. Therefore, the method used is suitable for planning and determining the best transportation routes on forest roads, proving to be of great importance for technological development and the competitiveness of the logistical process, aiming to achieve greater efficiency in the

transportation of various types of cargo.

Keywords: Forest Roads. Network Analysis. Best Routes. Transport Routes.

Resumen

Las carreteras forestales desenpeñam un papel fundamental en la conexión entre las areas agrícolas y los sitios de armazenamiento y procesamiento. Por cuenta de la importancia fundamental de las carreteras en cuanto al sector forestal y la necesidad en disminuir los costes de operaciones forestales relaccionadas a la logística, la propuesta de alternativas de aptimización de rutas de veículos al largo de una red de carreteras con el objetivo de disminuir las distancias es un problema muy comun en la toma de decisiones. Este trabajo tiene por objeto estudiar y concretar las mejores rutas de transporte de madera en carreteras forestales mediante el empleo de herramientas de análisis y creacion de rutas basadas en los Sistemas de Informaciones Geográficas (SIG). Por lo tanto, se lo ha empleado herraminetas de análisis espaciales, preparación de datos mediante empleo de técnicas de geoprocesamiento, fragmentaación de red de carreteras en "arcos-nodos", visitación de campo, definición de puntos del origen al destino y además de la herramienta de análisis de red Network Analyst, una extensión del SIG ArcGIS. Las nuevas rutas simuladas posibilitaran el transporte de madera hasta la zona de carbonización con el más pequeño tramo, la más grande segurida y con el más pequeño tiempo de camino, además de posibilitar las clasificaciónes de las carreteras forestales. Los análisis de echo permitierón la creación de un modelado en geprocesamiento lo cual posibilitará la aplicación en otras zonas de manera a promocionar la mejora y la optimización de las rutas de transporte en carreteras forestales. Por lo tanto, el método empleado es adecuado en las aplicaciones vueltas al planeamiento y a la determinación de las mejores rutas de transporte en carreteras forestales y en donde se presenta de gran importancia al desarrollo tecnológico y a la competencia de los procedimientos de logística en la búsqueda de la más grande efectividad aplicado al transporte de cualquier tipo de carga.

Palabras clave: Carreteras Forestales. Análisis de Red. Mejores Rutas. Rutas de Transporte.

Introdução

Uma estrada é um meio importante de ligação para o transporte de cargas e a circulação de pessoas, sendo frequentemente a única forma de acesso a uma localidade (ARRIVABENI,

2017). Segundo Machado (2013), as estradas oferecem benefícios econômicos e sociais para a sociedade, desempenhando um papel de destaque no desenvolvimento dos setores agrícola e florestal em diversos países. Vale destacar a pesquisa realizada por Barino et al. (2024), onde os autores utilizam o Sistema de Informação Geográfica como ferramenta otimizadora de rotas para as ações das equipes de socorro; Rönnqvist et al. (2024), os quais tratam da otimização logística de transporte de produtos florestais com emprego de SIG na Suécia; Xing et al. (2024), tratam da aplicação de planejamento e gerenciamento florestal com emprego de SIG, com a entrada de dados LIDAR (*Light detection and ranging* – mapeamento laser aéreo) e a utilização de ferramentas AHP *(analytic hierarchy process* – processo hierárquico analítico)*;* Silveira et al. (2023), os quais utilizaram SIG WEB para a localização de jazigos em cemitérios.

Em um empreendimento florestal, as estradas desempenham uma série de funções, pois são utilizadas em praticamente todas as atividades relacionadas ao empreendimento, como o preparo do solo e o plantio, as operações de manejo e proteção e, por fim, a colheita e o transporte da madeira (MARCATTI, 2017).

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT), em 2019, a rede viária brasileira tinha uma extensão total de aproximadamente 1,7 milhões de quilômetros, dos quais 1,4 milhões eram vias não pavimentadas, onde estão incluídas as estradas florestais (CNT, 2019).

As estradas florestais desempenham um papel fundamental na ligação entre as áreas de cultivo e seus locais de armazenamento e processamento. Elas constituem a base da atividade madeireira no Brasil, permitindo o tráfego da mão de obra e dos meios de produção necessários para as diversas atividades florestais (MACHADO, 2013).

De acordo com Marcatti (2017), tais estradas exigem a capacidade de suportar cargas pesadas de tráfego de caminhões, além de um sistema de drenagem eficiente. No entanto, observa-se que essas estradas têm um padrão construtivo baixo, ou seja, uma estrutura básica de cascalho sobre o subleito, que muitas vezes é composto pelo próprio solo natural. Esse solo muitas vezes é resultado da construção original da estrada ou dos caminhos que se desenvolveram ao longo dos anos de uso, o que aumenta os custos de manutenção (OLIVEIRA et al., 2011). Assim, conforme salienta Machado (1989), a falta de gerenciamento adequado dessas vias contribui, principalmente, para a redução da área produtiva e para um maior risco de degradação ambiental.

Devido à grande importância das estradas para o setor florestal e à necessidade de reduzir os custos das operações florestais, a proposição de alternativas para otimizar as rotas

dos veículos de carga ao longo de uma rede de estradas, com o objetivo de minimizar as distâncias, constitui um problema muito frequente na tomada de decisão (BALLOU, 2010).

Uma das técnicas mais eficientes e amplamente utilizadas atualmente como ferramenta para o planejamento, otimização de rotas de transporte e tomada de decisões é o Sistema de Informações Geográficas (SIG). Sua utilização tem se consolidado nos últimos anos, devido ao fácil acesso e disponibilidade de informações espaciais (Kazama et al., 2021). As empresas que empregam essas ferramentas reconhecem que a habilidade de compreender e gerenciar os recursos florestais pode ser significativamente aprimorada (COUTO, 1993), além de ser uma preocupação global em virtude dos diversos impactos ambientais causados pelas estradas florestais (Kazama et al., 2021). O uso de SIG associado a variáveis como tipo de pavimentação, geometria, topografia, condições de drenagem e largura da via possibilita uma maior eficiência no processo de tomada de decisão em relação à variável de menor distância ou menor custo (MALINOVSKI et al., 1990).

Dada a exposição anterior, a utilização do SIG permite a determinação das melhores rotas de transporte em estradas florestais, contribuindo para a solução de problemas de roteirização. Portanto, o uso dessa geotecnologia auxilia no planejamento das operações de transporte, com base na classificação das estradas, para a determinação e otimização de rotas.

Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo estudar e determinar as melhores rotas de transporte de madeira em estradas florestais, utilizando ferramentas de análise e roteirização baseadas em SIG. Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- determinar a melhor classificação das estradas florestais com base na ordem de utilização;
- estabelecer um conjunto de dados com informações espaciais, topológicas e geométricas das vias analisadas para a classificação das estradas florestais;
- criar procedimentos aplicáveis para a melhoria/otimização das rotas de transporte em estradas florestais, visando estabelecer um novo plano de rotas que minimize o tempo de deslocamento e os custos de operação.

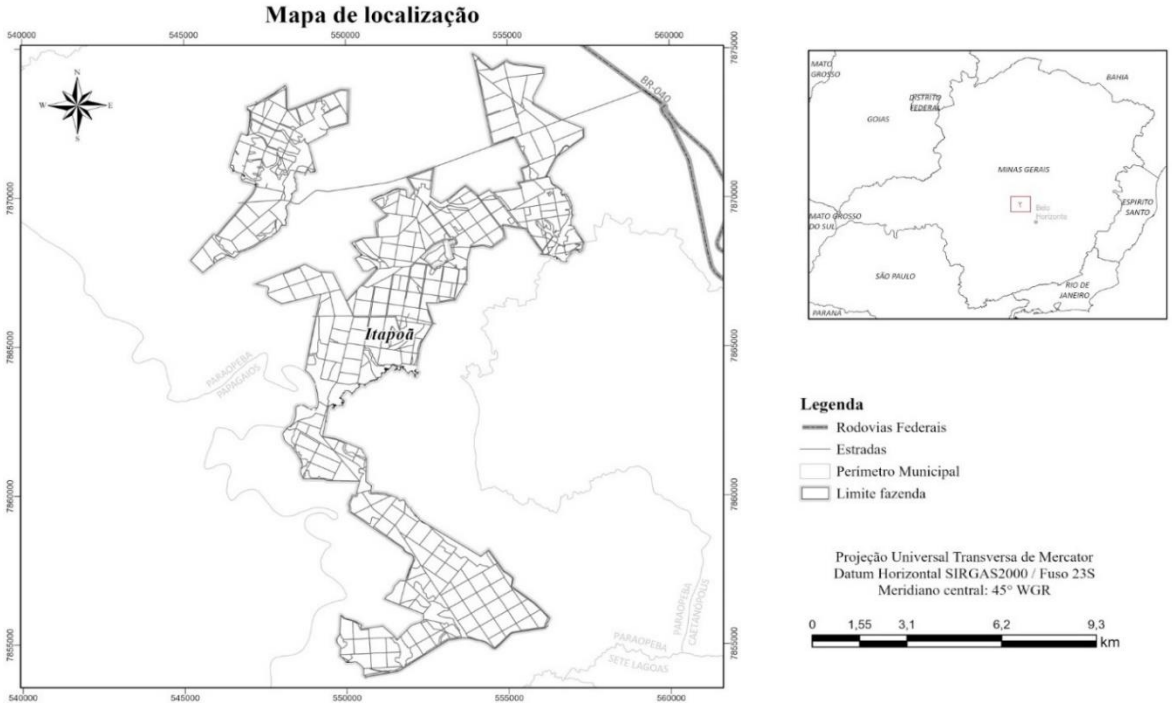
Área de Estudo

A pesquisa foi conduzida nas fazendas de uma empresa do setor florestal localizadas em Paraopeba, no estado de Minas Gerais (FIGURA 1). A área é composta pelas fazendas

Itapoã e Itapoã São Jorge, porém, devido à proximidade, a empresa as trata como uma única área.

Figura 1

Localização da Fazenda Itapoã, Paraopeba, MG.



As fazendas abrangem uma área total de 6.943,65 hectares (ha), dos quais 2.430,78 ha são destinados à preservação e 4.512,87 ha são efetivamente utilizados para o plantio, incluindo infraestrutura e estradas. A área de plantio é subdividida em 270 talhões (porções de terreno que dividem as unidades de floresta). A topografia das fazendas é predominantemente plana, o solo consiste principalmente em latossolo vermelho, e a região é caracterizada pelo bioma de cerrado. Essas fazendas são dedicadas ao cultivo de eucalipto e envolvem atividades contínuas de manutenção de áreas, plantio, corte de árvores e transporte. Além disso, incluem uma planta de carbonização, com fornos de alvenaria destinados à produção de carvão vegetal.

A rede viária abrange aproximadamente 493 quilômetros (km) de estradas, categorizadas pela empresa como principais e secundárias, com larguras variando de 6 a 8 metros. Quanto à pavimentação, a grande maioria das estradas possui leito natural, ou seja, a superfície de rolamento é formada pelo próprio terreno natural.

Recursos Materiais

A seleção dos recursos materiais foi de fundamental importância para o bom desenvolvimento da metodologia. Os recursos materiais e computacionais utilizados durante a realização dos estudos incluíram a ferramenta de *software* ArcGIS Pro (na versão para estudantes disponibilizada pela ESRI) para as operações de geoprocessamento, um computador pessoal e a base cartográfica digital da área de estudo, conforme descrito a seguir (Figura 2).

Figura 2

Informações gerais sobre a fonte de dados utilizada.

Dados	Fonte	Informações gerais
Rede viária florestal	Empresa proprietária das fazendas	• Disponibilização do traçado das vias e características gerais
Imagens Planet	Empresa Planet	• Resolução espacial de 3,125 metros • Disponibilização gratuita a partir do programa de educação e pesquisa da Planet.
Modelo Digital de Elevação	SRTM - Shuttle Radar Topography Mission	• National Imagery and Mapping Agency (NIMA) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA)

Proposta Metodológica

As rotas de transporte foram determinadas por meio de um modelo de análise de dados em rede, utilizando a ferramenta "*Network Analyst*" do ArcGIS Pro. Segundo a ESRI, essa ferramenta permite a realização de análises espaciais para executar operações de maneira mais eficiente na tomada de decisões estratégicas (ESRI, 2021).

Os atributos trabalhados incluem o tipo de pavimentação, distância, largura, hierarquia e velocidade. Esses atributos foram escolhidos com base na literatura existente e na análise das informações disponíveis na área de estudo. O atributo de pavimentação foi classificado como asfalto, cascalho ou terra. O atributo de distância representa o comprimento de cada via. Quanto ao atributo de largura, foram utilizadas categorias de 8 ou 6 metros. A hierarquia está relacionada ao tipo de via, com rodovias federais classificadas como 1, estradas asfaltadas como 2 e as demais estradas como 3. Por fim, o atributo de velocidade foi classificado de acordo com a pavimentação e a largura da via, com estradas asfaltadas a 20 km/h, estradas com 8 metros de largura a 42 km/h e as demais estradas a 34 km/h. Para um melhor entendimento, apresentamos a seguir um resumo dos atributos utilizados e suas respectivas classificações (Figura 3).

Figura 3

Informações gerais sobre a fonte de dados utilizada.

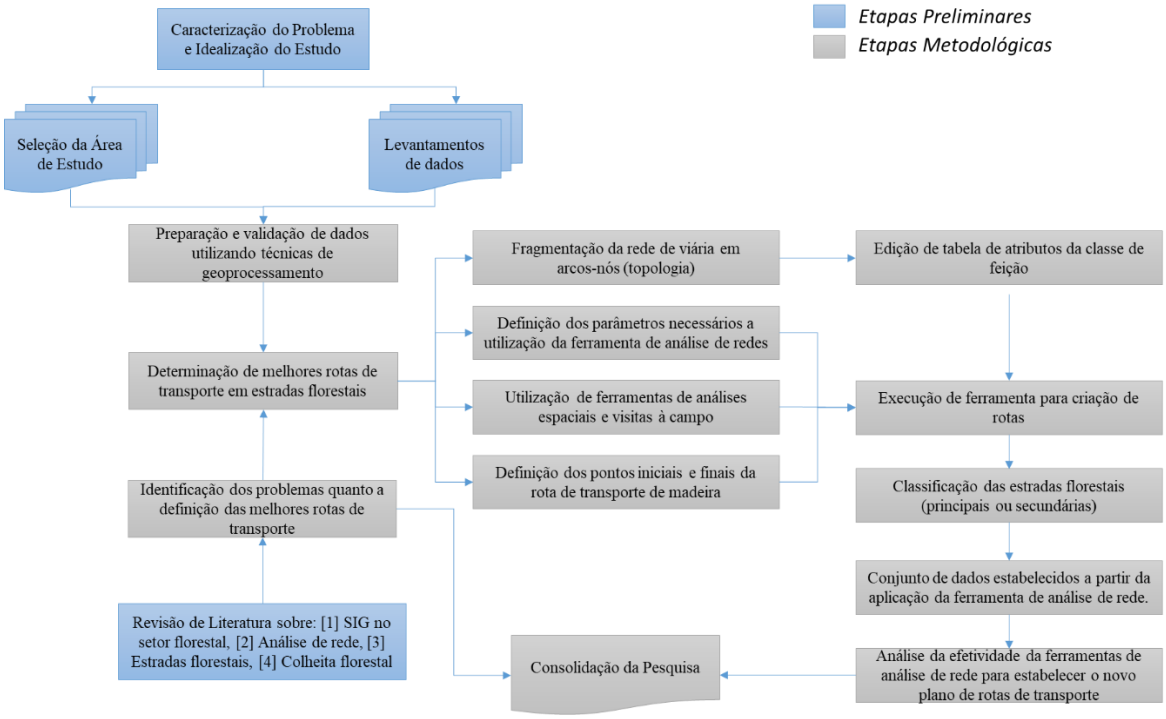
Tipo de atributo	Classificação
Pavimentação	Asfalto Cascalho Terra
Distância	Comprimento de cada via
Largura	8 ou 6 metros De acordo com metodologia adotada pela empresa
Hierarquia	1 - Rodovia Federal 2- Estrada asfaltada 3- Demais estradas
Velocidade	70km/h - Rodovia Federal 20km/h - Estrada asfaltada 42 km/h – Estradas com largura de 8 m 34km/h - Demais estradas

A rede de estradas foi criada por meio da ferramenta "Construir Rede". Após a criação da “rede de estradas”, a definição de restrições existentes e a especificação de pontos de origem (talhões) e destino (planta de carbonização) foram realizadas por meio da ferramenta *Network Analyst*. Utilizando a opção "Instalação Mais Próxima", os talhões foram inseridos como instalações e a planta de carbonização como incidente. Isso possibilitou a determinação das rotas (em km) para o escoamento de madeira, buscando a menor distância, maior segurança e menor tempo de percurso. Para a classificação das estradas em principais e secundárias, foram desenvolvidos scripts em Python em colaboração com a empresa proprietária da fazenda. Esses scripts transformaram as rotas em dados raster, permitindo assim a identificação das estradas com maior e menor tráfego de caminhões.

Portanto, ao final, foi desenvolvido um modelo que pode ser aplicado em outras redes de estradas florestais. A seguir, apresentamos o fluxo da metodologia adotada (Figura 4).

Figura 4

Fluxograma síntese da metodologia proposta.



As etapas preliminares, mais especificamente na caracterização do problema e idealização do estudo, foram apoiadas pela revisão da literatura, seleção da área de estudo e levantamento de dados. Posteriormente, foram identificados os problemas relacionados à definição das melhores rotas de transporte e realizada a preparação dos dados, utilizando técnicas de geoprocessamento. Nas etapas metodológicas para determinar as melhores rotas de transporte, a rede viária foi fragmentada em "arcos-nós" (topologia), foram empregadas ferramentas de análise espacial e foram realizadas visitas a campo. Também foram definidos os parâmetros necessários para a utilização da ferramenta de análise de redes, bem como os pontos iniciais e finais das rotas de transporte de madeira. Em seguida, a ferramenta foi executada para criar todas as rotas do ponto inicial ao ponto final, resultando na classificação das estradas em principais e secundárias. Por fim, foi conduzida uma análise da efetividade das ferramentas de análise de rede para estabelecer o novo plano de rotas de transporte.

4.1 Preparação dos Dados

A partir dos dados da rede viária florestal fornecidos pela empresa proprietária das fazendas, foi realizada a análise topográfica com base nas imagens do *Planet*. Em seguida, a base cartográfica foi preparada no *software* ArcGIS Pro.

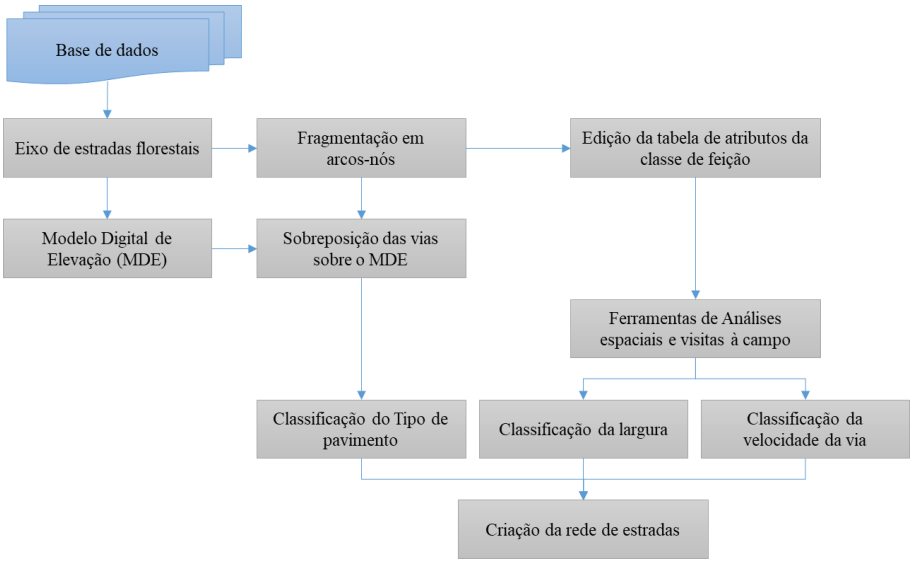
A base de dados com as estradas georreferenciada foi vetorizada e fragmentada no sistema topológico "arco-nó", permitindo a individualização dos segmentos da estrada. Ou seja, em cada ponto de interseção, a estrada foi fragmentada. Cada um desses segmentos representou uma linha na tabela de dados.

Com o auxílio de ferramentas de análise espacial e visitas a campo, as vias foram classificadas quanto ao tipo de pavimento (asfalto, terra ou encascalhadas) e à largura. Foi dada maior atenção ao campo referente à pavimentação, visto que ele possui influência direta nos resultados, uma vez que a velocidade média da via, para o desenvolvimento inicial deste trabalho, depende do tipo de pavimentação. Com as vias classificadas, os atributos de cada via foram incluídos na tabela de dados, criando-se um modelo de análise de rede para a determinação de rotas.

Diante disso, foi elaborado um fluxograma operacional, adaptado do estudo de Moraes (2014), para melhor compreensão das etapas (Figura 5).

Figura 5

Fluxograma operacional do tratamento dos dados da rede viária florestal.



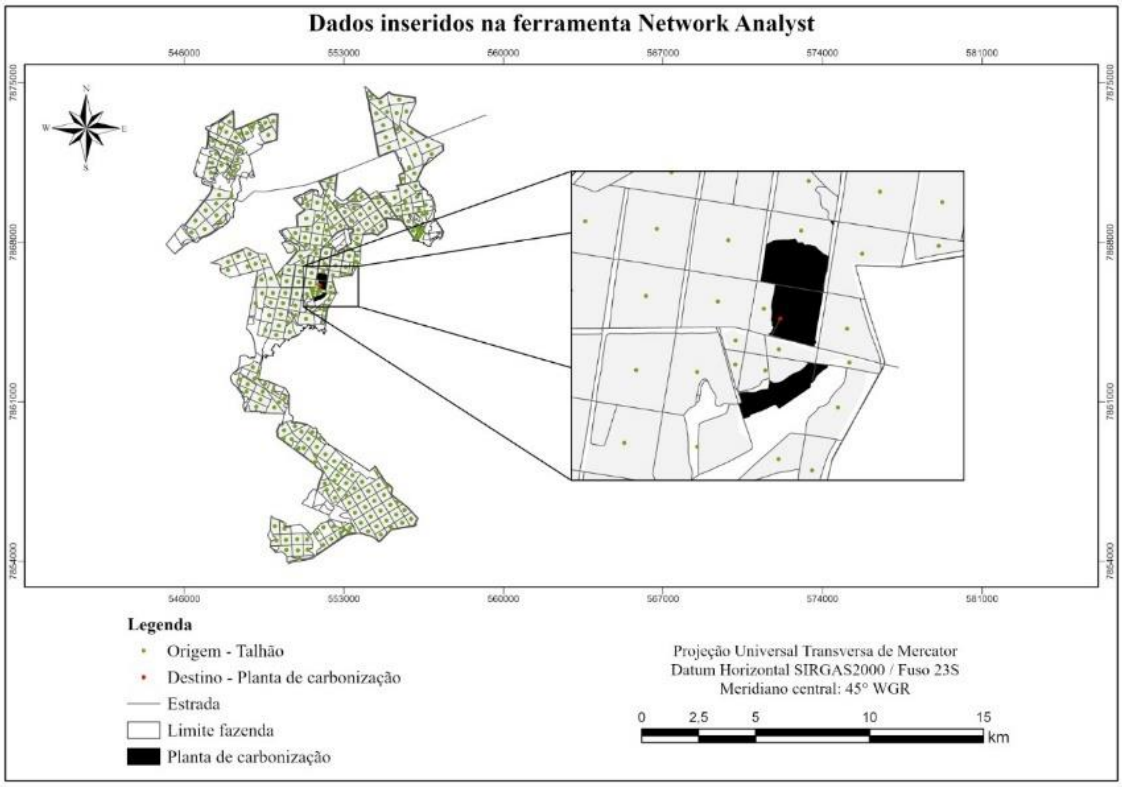
Fonte: Dados da pesquisa, 2021 - adaptado de Moraes (2014).

Resultados e Discussões

Com a base de dados vetorizada, fragmentada e todas as vias devidamente caracterizadas, foi criada a rede de estradas. Em seguida, inseriram-se os 270 talhões e a planta de carbonização na ferramenta "Localização mais próxima" do Network Analyst, com o objetivo de informar ao sistema quais são os pontos de origem (talhões) e destino (planta de carbonização), conforme ilustrado na (Figura 6).

Figura 6

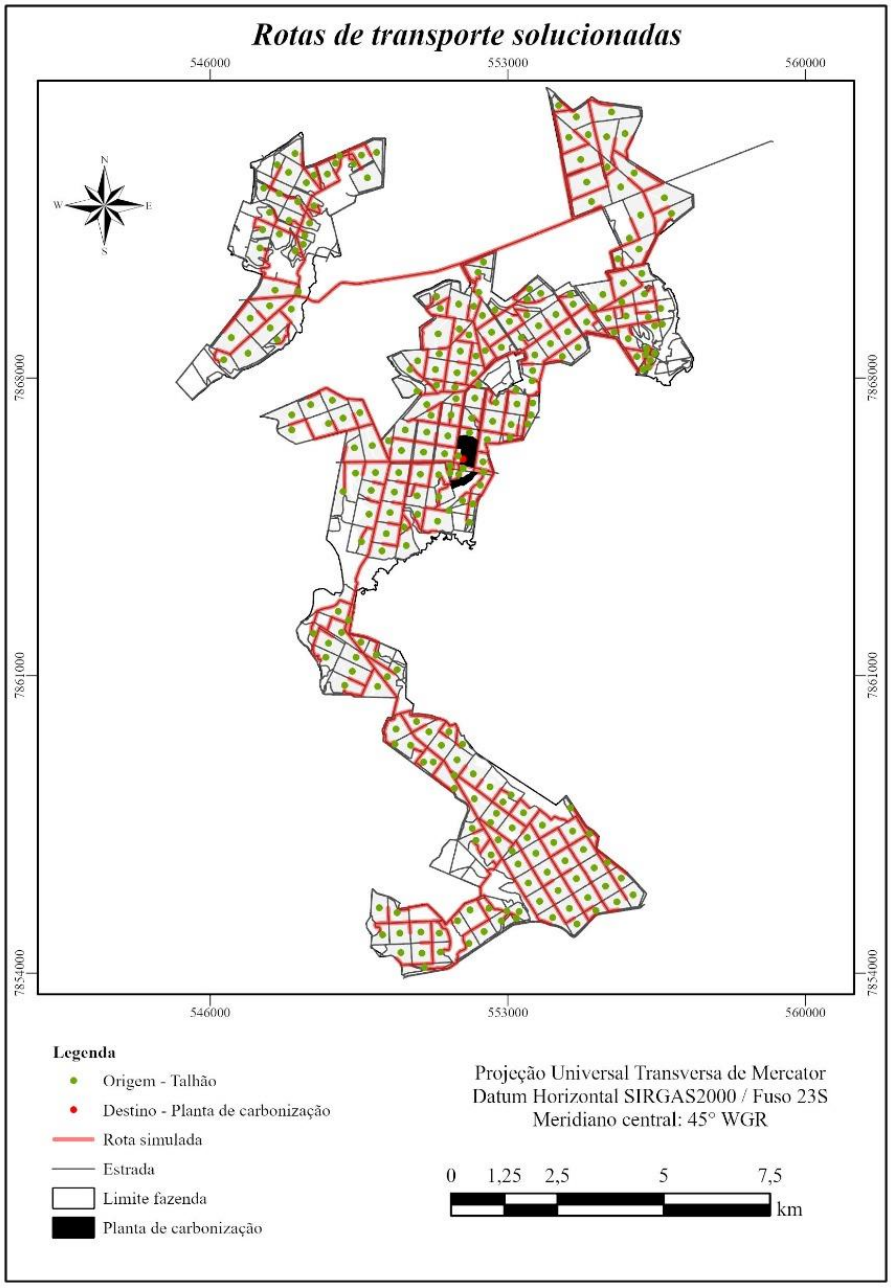
Talhões e planta de carbonização inseridos na ferramenta "Instalação mais próxima".



Assim, foi realizada a análise de rede na qual 270 rotas foram simuladas e estabelecidas (Figura 7). O critério principal para essas rotas foi priorizar a passagem pelas estradas pavimentadas sempre que possível, visando percorrer a menor distância pelo veículo de transporte.

Figura 7

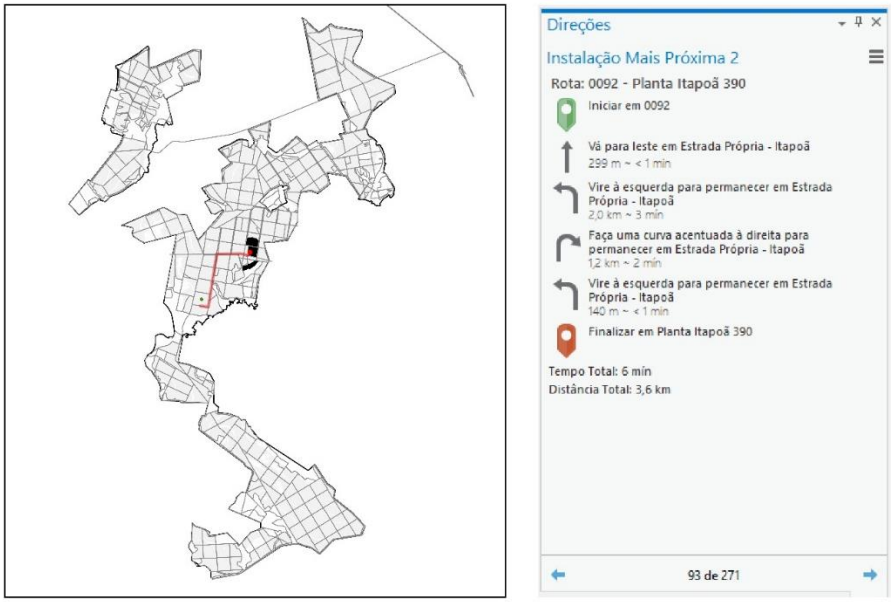
Rotas de transporte solucionadas.



Observa-se que as rotas simuladas apresentam um alto nível de detalhamento (Figura 8). A aplicação do SIG realiza o detalhamento, para cada rota, da distância percorrida, tempo médio de trajeto e cada manobra de conversão que será realizada pelo veículo de transporte. Tais informações, bem como as rotas simuladas, podem ser disponibilizadas nas plataformas do ArcGIS para os colaboradores da empresa.

Figura 8

Detalhamento da rota simulada.



A simulação das rotas de transporte foi realizada para todos os talhões. No entanto, é importante ressaltar que o escoamento de madeira para a planta de carbonização não ocorre de todos os talhões de forma simultânea, o que significa que o tráfego de caminhões de carga nessas estradas não é intenso. Em situações de manutenção ou interdição da via, novas rotas podem ser simuladas considerando o incidente.

5.1 Classificação das Estradas Florestais

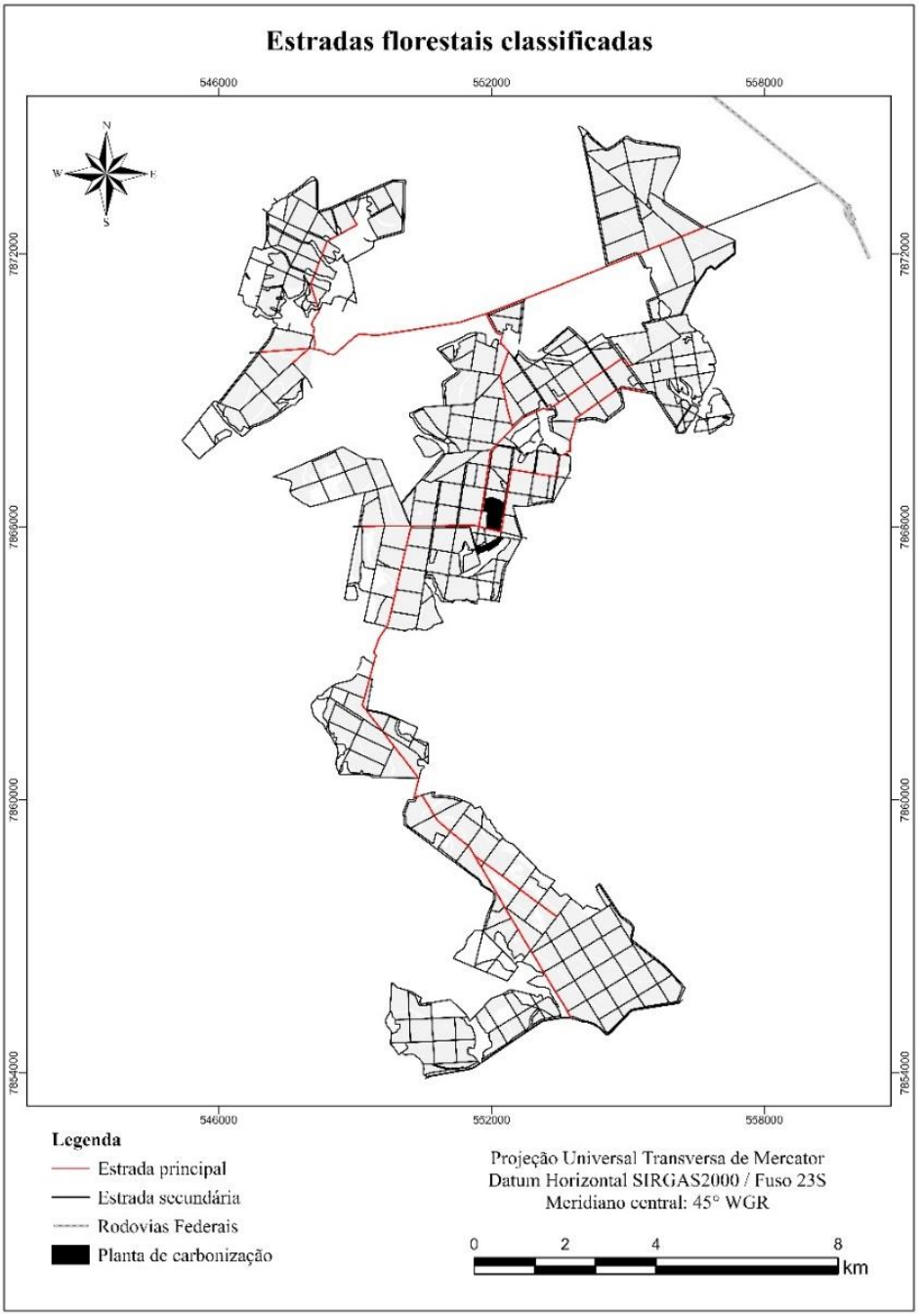
A classificação das estradas florestais como principais ou secundárias foi determinada com base em sua ordem de utilização, ou seja, quais estradas seriam mais frequentemente utilizadas e teriam um fluxo de tráfego maior. As estradas com maior uso, classificadas como principais, exigem uma qualidade superior em relação às outras na região. Isso permite o tráfego durante todo o ano e requer serviços de manutenção mais frequentes.

Para realizar essa determinação, foram utilizados dois scripts na linguagem Python para converter as rotas em dados raster. Quando cada rota é transformada em um elemento raster, ela recebe o valor 1. Portanto, somando as rotas que se sobrepõem, a estrada com o maior valor é classificada como principal, enquanto as demais são consideradas secundárias.

Após identificar as vias principais, a base de dados foi atualizada, classificando as estradas em principais e secundárias. Na Figura 9 é apresentado o mapa das fazendas Itapoã com a malha viária devidamente classificada.

Figura 9

Estradas florestais classificadas.



A partir da Figura 9, é possível observar a criação de um conjunto de dados com informações espaciais, topológicas e geométricas das vias estudadas.

Conclusões

A partir dos estudos realizados e dos resultados encontrados, foi possível perceber que a proposta metodológica demonstrou ser eficaz no planejamento e determinação das melhores rotas de transporte em estradas florestais, desempenhando um papel significativo no desenvolvimento tecnológico e na competitividade do processo logístico. Isso visa aprimorar a eficiência do transporte de qualquer tipo de carga.

Por meio da utilização de SIG, foi possível estabelecer o padrão da malha viária da região estudada, realizando vetorização, fragmentação e classificação com base nos critérios de pavimentação, distância, hierarquia e velocidade.

Através do cenário criado com a ferramenta Network Analyst do ArcGIS, foram simuladas rotas para o transporte de madeira dos talhões até a planta de carbonização. Essas rotas ofereceram a menor distância e o menor tempo de percurso, contribuindo para aumentar a eficiência no transporte da produção florestal. Além disso, possibilitaram a classificação das estradas florestais em principais ou secundárias com base em sua frequência de uso.

Com a classificação das estradas florestais em principais e secundárias e a caracterização conforme os critérios de pavimentação, distância, hierarquia e velocidade, foi construído um conjunto de dados com informações espaciais, topológicas e geométricas das vias estudadas.

Por fim, foi desenvolvido um modelo de geoprocessamento que pode ser aplicado para a melhoria e otimização das rotas de transporte em estradas florestais, visando o escoamento da produção e estabelecendo um novo plano de rotas com o objetivo de minimizar o tempo de deslocamento e os custos, garantindo maior segurança.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Prefeitura Municipal de Curvelo/MG, ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG e à Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG pelo apoio e por toda estrutura disponibilizada, e ao CNPq pelo apoio ao pesquisador.

Referências

Araujo, M. J.; Aoki. J.; Duarte, B. G. **SIG nas nuvens para empresas florestais.** Ambiência Guarapuava (PR) v.8 Ed. Especial p. 593 – 600, out-2012.

Ballou, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial.** Porto Alegre: Bookman, 2010.

CNT – Confederação Nacional Do Transporte. **Pesquisa CNT de rodovias 2019: relatório gerencial.** 1 ed. Brasília, 2019, 405 p.

Barino, R. S., Cunha, C. B. da, & Solano, C. M. D. (2024). Facilities location for disaster response teams using GIS. *Revista De Gestão E Secretariado*, *15*(3), e3553. https://doi.org/10.7769/gesec.v15i3.3553 **- Me parece que o formato é APA.**

Couto, H. T. Z. **Sistemas de informações geográficas: Aplicações Florestais.** IPEF Série Técnica, Piracicaba, v. 9, nº 28, 1993.

Kazama, V. S., Corte, A. P. D., Robert, R. C. G., Sanquetta, C. R., Arce, J. E., Oliveira-Nascimento, K. A., & DeArmond, D. (2021). **Global review on forest road optimization planning: support for sustainable forest management in Amazonia**. Forest Ecology and Management, 492, 119159. http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119159.

Machado, C. C. Construção e conservação de estradas rurais e florestais. In: C. C. Machado (Ed.); **Planejamento de estradas florestais**. p.441, 2013. Viçosa, MG.

Machado, C. C. **Sistema brasileiro de classificação de estradas florestais (SIBRACEF): desenvolvimento e relação com o meio de transporte florestal rodoviário.** Curitiba: UFPR, 1989. 188p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, 1989.

Machado, C. C.; SILVA, E. **Planejamento de estradas florestais ambientalmente corretas**. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL. 2001. Porto Seguro-BA. Anais... Porto Seguro: outubro, 2001. p.28-44.

Malinovski, J. R.; Perdoncini, W. **Estradas de uso florestal**. Colégio Florestal de Irati - GTZ, Irati, 1990. 100p;

Malinovski, R.A.; Malinovski, J. R. **Evolução dos sistemas de colheita de pinus na região sul do Brasil.** Curitiba: FUPEF, 1998, 138 p.

Marcatti, G. E. **Otimização do traçado geométrico de estradas florestais.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2017. 10p. (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2017.

Marcatti, G. E.; Ribeiro, C. A. A. S. **Uso de Lidar para o planejamento do traçado geométrico de estradas.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos-SP.

Oliveira, K. K. R. **Determinação de melhores rotas para escoamento de madeira de eucalipto em áreas da Cenibra-As.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná,2014. 33p. (Pós-Graduação em Gestão Florestal) - Universidade Federal do Paraná,2014.

Oliveira, J. F.; Griebeler, N. P.; Garvil, R. A.; Oliveira, J. M.; Rabelo, M. O. **Uso do *software Estradas* para determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas no interior de Goiás.** Ceres, Viçosa, v. 58, n.1, p.17-22, Jan/Fev. 2011.

Oliveira, J. V. T. M.; Neto, P. S.; Souza, C. M; Junior, F. W. A.. Adequação de banco de dados e utilização de atributo de hierarquia na geração de rotas ótimas para o escoamento da produção florestal. In: TULLIO, L..**Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto.** Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. v.1, p 13-24.

Planet. **Planet Imagery Product Specifications**. p. 91, 2018.

Rönnqvist, M., Flisberg, P., Frisk, M., Bredström, D., & Paradis, J. B. (2024). A new hybrid method for quick and accurate calculation of forest transportation distances. *International Transactions in Operational Research*, 31(3), 1397-1425. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/itor.13409

Silveira, B. G. S., de Paula, C. F., Borges, V. de O., Pinto, R. A. N., Piantino, L. F. M., Sanjulião, L.-R. K. A., Reis, M. J., & da Silva, A. S. (2023). Elaboração de um sig web para geolocalização de jazigos em cemitérios. *Revista De Gestão E Secretariado*, *14*(10), 17363–17378. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i10.2881

Xing, J., Sun, S., Huang, Q., Chen, Z., & Zhou, Z. (2024). Application of Geoinformatics in Forest Planning and Management. Forests, 15(3), 439. https://www.mdpi.com/1999-4907/15/3/439/pdf

Received: 03.11.2024

Accepted: 04.01.2024