



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO  
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL  
CAMPUS SETE LAGOAS**

**GILBERTO DO AMARAL PACHECO**

**EFEITO DA LOCALIZAÇÃO DE ESTRADAS FLORESTAIS NA  
DISTÂNCIA MÉDIA DE EXTRAÇÃO DE MADEIRA EM PLANTIOS  
COMERCIAIS**

**Sete Lagoas, MG**

**2024**

**GILBERTO DO AMARAL PACHECO**

**EFEITO DA LOCALIZAÇÃO DE ESTRADAS FLORESTAIS NA  
DISTÂNCIA MÉDIA DE EXTRAÇÃO DE MADEIRA EM PLANTIOS  
COMERCIAIS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Eduardo Marcatti

**Sete Lagoas, MG**

**2024**

**GILBERTO DO AMARAL PACHECO**

**EFEITO DA LOCALIZAÇÃO DE ESTRADAS FLORESTAIS NA  
DISTÂNCIA MÉDIA DE EXTRAÇÃO DE MADEIRA EM PLANTIOS  
COMERCIAIS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Sete Lagoas, 17 de abril de 2024.

**Banca avaliadora:**

Anna Luísa Souza Leite – UFSJ

Getúlio Domingues Fonseca – UFMG

Gustavo Eduardo Marcatti, Orientador – UFSJ

Jéssica Lucas Briskiewicz – UFSJ

***“Caminante, no hay caminho, se hace camino al andar.”***

Antonio Machado (Poeta espanhol)

*Dedico a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para minha formação e em especial ao Professor e amigo Gustavo Marcatti pela disponibilidade em me ajudar na elaboração e produção do trabalho que segue.*

*Muito obrigado a todos de coração!*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço de antemão a Deus por conceder-me o dom da vida, saúde, sabedoria, paciência e perseverança para trilhar o caminho do conhecimento e conseguir realizar o sonho de ser Engenheiro Florestal formado em uma instituição de pública e de qualidade.

À minha mãe por me incentivar, apoiar em minhas decisões e apostar suas fichas em mim, além de ser um porto seguro que eu sempre posso contar nos melhores e piores momentos.

À minha namorada Michelle pela paciência, compreensão e por estar comigo em todos os momentos de minha vida, mesmo nos mais turbulentos.

Agradeço à minha família e amigos pelas palavras de incentivo.

De forma especial, agradeço aos meus professores, que além de mestres se tornaram grandes amigos e parceiros. Muito obrigado por tudo que fizeram por mim!

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura A: Unidade produtiva total (160 ha) .....                                                                                        | 13 |
| Figura B: Talhões uniformes .....                                                                                                       | 13 |
| Figura C: Talhões irregulares .....                                                                                                     | 13 |
| Figura D: Limites dos talhões regulares .....                                                                                           | 13 |
| Figura E: Limites dos talhões irregulares .....                                                                                         | 13 |
| Figura F: Limites dos talhões regulares transformados para feições tipo ponto. ....                                                     | 14 |
| Figura G: Limites dos talhões irregulares transformados para feições tipo ponto. ....                                                   | 14 |
| Figura H: Grupos de 25 árvores simulados por pontos para talhões regulares. ....                                                        | 14 |
| Figura I: Grupos de 25 árvores simulados por pontos para talhões irregulares. ....                                                      | 14 |
| Figura J: Distância do ponto central dos grupos de árvores ao ponto mais próximo na estrada para talhões regulares. ....                | 15 |
| Figura K: Distância do ponto central dos grupos de árvores ao ponto mais próximo na estrada para talhões irregulares. ....              | 15 |
| Tabela 01: Estatística básica para distância de extração, em unidades métricas, para as feições “Talhões Regulares e Irregulares” ..... | 15 |

## SUMÁRIO

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Sumário.....                                                                   | 8  |
| 1 RESUMO .....                                                                 | 9  |
| 2 <i>ABSTRACT</i> .....                                                        | 10 |
| 3 INTRODUÇÃO.....                                                              | 11 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS.....                                                     | 12 |
| 4.1 Criação dos cenários para comparação.....                                  | 12 |
| 4.2 Computação da distância média de extração .....                            | 13 |
| 5 RESULTADOS .....                                                             | 15 |
| 6 DISCUSSÃO .....                                                              | 16 |
| 7 CONCLUSÃO.....                                                               | 17 |
| 8 REFERÊNCIAS .....                                                            | 17 |
| 9 APÊNDICES E ANEXOS.....                                                      | 19 |
| Termo de autorização para publicação no Repositório Institucional da UFSJ..... | 19 |

## 1 RESUMO

O presente trabalho investigou os efeitos da localização de estradas florestais na distância média de extração de madeira em plantios comerciais. Utilizando ferramentas do software QGIS, foi possível simular talhões de mesmo tamanho e com mesma densidade de estradas, porém com alocação das mesmas em lugares diferentes, dessa forma foi possível simular o caminhamento da máquina de extração florestal, calcular a distância média de extração para cada área e por fim as estatísticas de cada uma. Os resultados obtidos mostraram a relevância da seleção estratégica de locais para as estradas florestais, evidenciando sua significativa influência na eficiência operacional e nos custos associados à extração de madeira. A diferença encontrada entre a área com Talhões Irregulares e a área com Talhões Regulares foi 11,09 % maior nos Talhões Irregulares.

**Palavras-chave:** Distância média de extração, extração de madeira, estradas florestais, densidade ótima de estradas.

## **2 ABSTRACT**

*The present study investigated the effects of the location of forest roads on the average distance of timber extraction in commercial plantations. Using tools from the QGIS software, it was possible to simulate plots of the same size and with the same road density, but with the allocation of the same in different places, thus simulating the movement of the forest extraction machine, calculating the average extraction distance for each area and finally the statistics of each one. The results obtained showed the relevance of the strategic selection of locations for forest roads, highlighting their significant influence on operational efficiency and the costs associated with timber extraction. The difference found between the area with Regular Plots and the area with Irregular Plots was 11.09% more than Irregular Plots.*

**Key words:** *Average extraction distance, wood extraction, forest roads, optimal road density.*

### 3 INTRODUÇÃO

As estradas florestais podem ser definidas como a interação das estradas primárias, secundárias, trilhas e ramais, sendo que estas permitem a realização da atividade de colheita, visando o abastecimento da empresa (MALINOVISK, 1991). Possuem diversas finalidades, dentre elas, facilitar o transporte de insumos, máquinas e principalmente o escoamento dos produtos oriundos das florestas, sendo a madeira o principal (DIETZ, 1983).

A construção de estradas deve ter as finalidades de redução das distâncias na extração florestal; facilitar o sentido e a realização do planejamento e do manejo da floresta; permitir que seja realizado de forma mais eficiente o combate a incêndios florestais e sua prevenção; permitir o transporte de máquinas, materiais e pessoas (SPEIDEL, 1966). Além disso, o manejo florestal sustentável exige uma rede rodoviária a longo prazo, portanto a silvicultura inicia-se pelas estradas florestais (DIETZ, 1983).

Por serem um importante componente do custo de implantação de um projeto florestal, faz-se necessário um planejamento para otimizar os custos de construção e manutenção das estradas florestais (HEINRICH, 1985). Portanto, o macroplanejamento das estradas florestais ocorre na ocasião da colheita de madeira, sendo que a densidade de estradas e caminhos aumenta para que se possa ocorrer a atividade de extração e que a atividade de extração de madeira é que determina o dimensionamento da densidade de estradas, em função das características de cada equipamento utilizado no processo para que seja economicamente viável (ZAGONEL *et al.*, 2008).

A construção exagerada das estradas florestais ocasiona a perda de áreas de plantio, sendo assim, o planejamento destas deverá ser compatível com a sua densidade. Dessa forma a área onde as estradas estarão alocadas deverá respeitar a viabilidade econômica dos povoamentos a serem implantados (MALINOVISK; PERDONCINI, 1990).

Segundo BECKER (1994), as estradas florestais são um alto investimento para as empresas, assim sendo, para se determinar a densidade ótima de estradas devem ser avaliadas características intrínsecas de cada empresa e local de implantação.

Vários fatores podem afetar a densidade ótima de estradas florestais, sendo principalmente as condições do terreno, intensidade da atividade florestal e sistema de colheita. Percebe-se que a densidade tende a aumentar à medida que se aumenta a declividade do terreno (CARMO *et al.*, 2013).

Conforme afirma ZAGONEL *et al.* (2008) “quanto maior a densidade de estradas, menor o custo de extração, portanto, existe a necessidade de se otimizar a densidade das estradas”. A densidade ótima de estradas florestais deverá estar relacionada com as máquinas e

equipamentos que serão utilizados na extração florestal, pois a distância entre as estradas deverá permitir o máximo rendimento dos mesmos (MALINOVISK; PERDONCINI, 1990).

Em sua pesquisa sobre a produtividade de extração com *skidders* na colheita final de *Pinnus taeda* L., DE LIMA *et al.* (2017), mostra que a produtividade de tais equipamentos além de estar vinculada com o volume de árvores transportadas e a potência do equipamento, mostra uma correlação direta com a distância média de extração (DME) e com a densidade de estradas florestais, sendo que, quanto maior a DME menor a produtividade dos equipamentos.

Pesquisas realizadas em áreas montanhosas da Macedônia por TRAJANOV *et al.* (2013), mostram que independentemente do método de extração empregado (trator de arraste, tração animal ou sistemas de cabos), a DME estará diretamente relacionada com a produtividade da extração e aos custos de colheita, ou seja, quanto maior a DME, menor a produtividade e maior será custo de extração da madeira, sendo que de acordo com o autor, tais fatores se agravam quando se trata de áreas de difícil acesso.

Mesmo com todo conhecimento sobre a determinação da quantidade ótima de estradas florestais a serem construídas nos empreendimentos, existe uma carência de informações sobre a localização destas. Sendo que o número obtido de metros de estrada por hectare plantado pode ser uma métrica subjetiva caso as estradas não estejam bem alocadas no terreno.

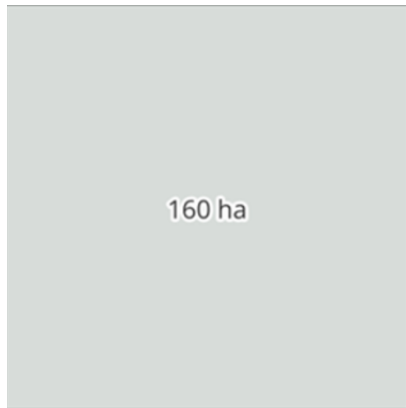
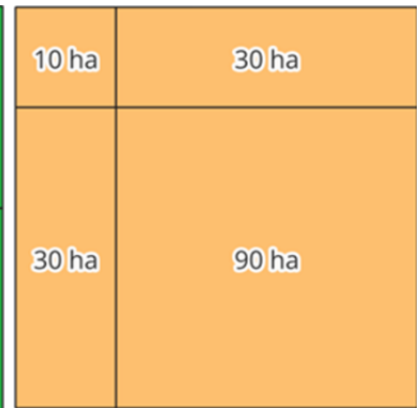
O presente estudo teve como objetivo demonstrar que a quantidade de estradas estimadas pelo método de densidade ótima de estradas florestais, deve servir de métrica para sua implantação, porém, as mesmas devem estar bem alocadas de forma que não haja custos adicionais na atividade de extração de madeira.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Criação dos cenários para comparação**

Foi simulada a área de uma unidade produtiva de madeira de aproximadamente 160 ha (Figura “A”). Foram criados dois cenários de comparação: no primeiro, nomeado de “Talhões Regulares” (Figura “B”), foi feita uma subdivisão da área de estudo de maneira uniforme entre 4 talhões e assim, cada talhão apresentou 40 ha; já no segundo cenário, nomeado de “Talhões Irregulares” (Figura “C”), a distribuição da área entre os talhões foi desuniforme e assim, foram criados 4 talhões com áreas de 10, 30, 30 e 90 ha cada um.

Todas essas operações foram feitas utilizando as ferramentas de edição de vetores do software QGIS e resultaram nas seguintes imagens:

*Figura A:**Figura B:**Figura C:*

#### 4.2 Computação da distância média de extração

A metodologia utilizada para a computação da distância média de extração foi a mesma para os dois cenários, sendo necessárias as seguintes etapas:

Os limites dos talhões (Figuras “B” e “C”) foram transformados em feição vetorial do tipo linha (Polígonos para linhas), representadas pelas Figuras “D” e “E”. Além disso, para ser possível computar as árvores (ou grupo de árvores) mais próximas da estrada, posteriormente, essa feição de estrada foi transformada em uma feição vetorial do tipo ponto (pontos ao longo da geometria, Figuras “F” e “G”). A distância entre os pontos gerados ao longo da linha pode ser definida, por via de regra, como quanto menor a distância, mais realista é a solução, porém pode afetar o desempenho computacional, pois menores distâncias acarretam maior quantidade de pontos. No presente estudo a distância entre pontos foi igual a 10 metros:

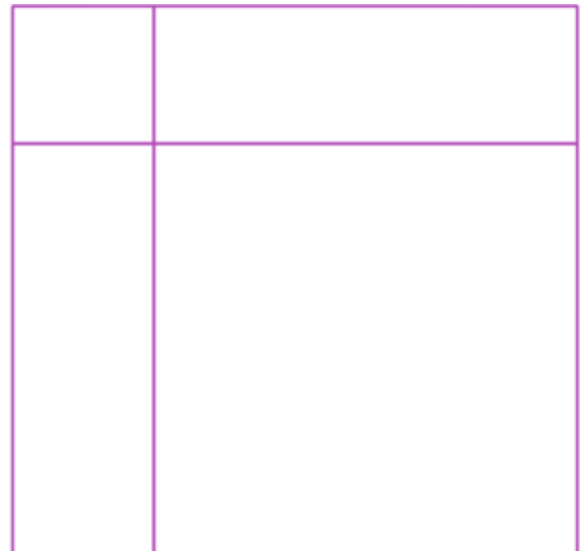
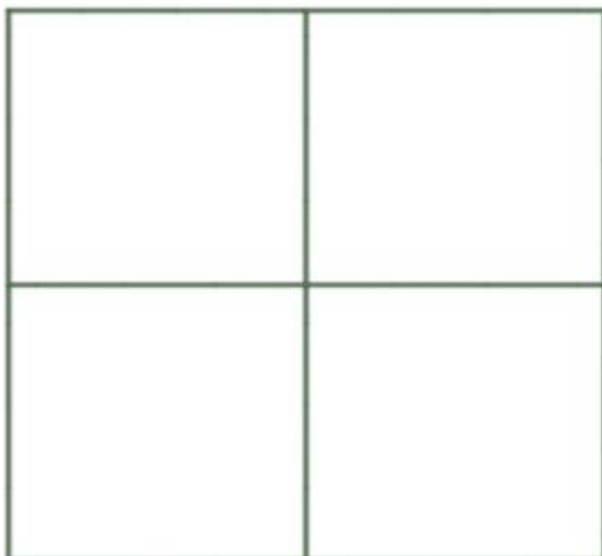
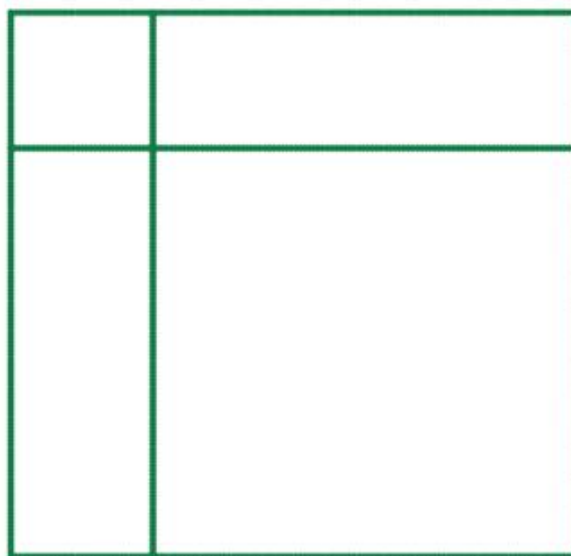
*Figura D:**Figura E:*

*Figura F:**Figura G:*

Na próxima etapa, as árvores ou grupo de árvores, foram simuladas (pontos regulares). Foi estabelecido um espaçamento entre pontos de 15 por 15 metros, isso corresponde a um grupo de 25 árvores se considerarmos um espaçamento de 9 m<sup>2</sup> por planta (Figuras “H” e “I”). Logo após os grupos de árvores serem gerados, foi possível computar a feição espacial do tipo linha que representa a menor distância entre o grupo de árvores e os pontos que representam a estrada (Distância para o ponto central mais próximo - linha para ponto central, Figuras “J” e “K”), como se segue:

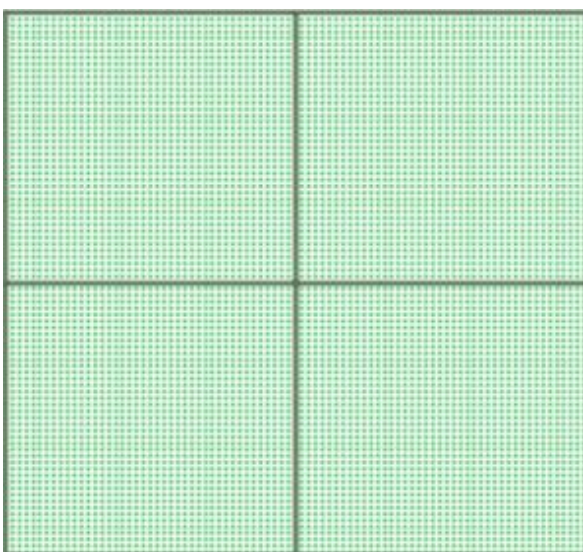
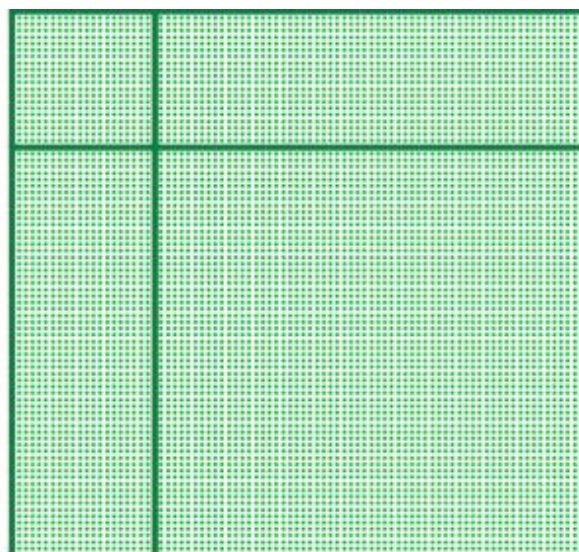
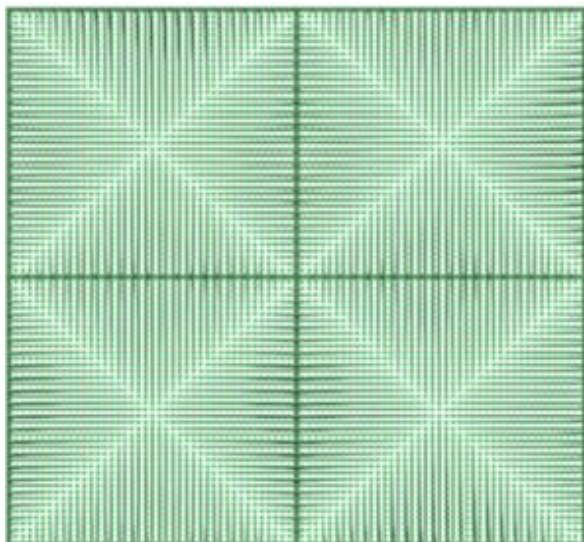
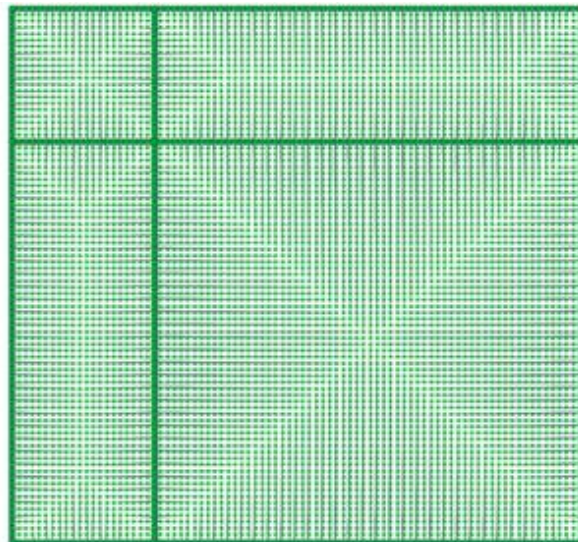
*Figura H:**Figura I:*

*Figura J:**Figura K:*

Por fim, foram computadas as estatísticas referentes às distâncias mínimas obtidas na etapa anterior (Campo para estatística básica), de modo que as de maior interesse foram a distância média e máxima.

## 5 RESULTADOS

Os resultados foram gerados no software QGIS através da ferramenta “Estatística básica para campos” para as feições “Talhões Regulares” e “Talhões Irregulares” e foram representados na Tabela 01:

*Tabela 01: Estatística básica para distância de extração, em unidades métricas, para as feições “Talhões Regulares e Irregulares”.*

| <b>Estatística</b>      | <b>Regular</b> | <b>Irregular</b> |
|-------------------------|----------------|------------------|
| Contagem                | 7225           | 7225             |
| Amplitude interquartil  | 112,26         | 111,05           |
| Primeiro quartil        | 42,56          | 43,78            |
| Mediana                 | 90,04          | 90,07            |
| Terceiro quartil        | 154,81         | 154,82           |
| Mínimo                  | 0,00           | 0,00             |
| Média                   | 103,82         | 116,77           |
| Máximo                  | 314,78         | 469,56           |
| Desvio padrão           | 74,92          | 99,60            |
| Coeficiente de variação | 0,72           | 0,85             |

De acordo com o resultado dos cálculos das estatísticas, obteve-se uma Densidade Média de Extração (DME) para a feição classificada como “Talhões Regulares” igual a 103,82 m. Já

na feição classificada como “Talhões Irregulares”, foi obtida uma DME igual a 116,77 m, sendo que de forma comparativa, houve uma diferença de 11,09 %, ou seja, para uma área de mesmo tamanho e mesma densidade de estradas, a feição classificada como “Talhões Irregulares”, teve uma DME 11,09 % maior do que a feição “Talhões Regulares”.

## 6 DISCUSSÃO

A Distância média de extração (DME) apresenta relação com o custo de extração, LEITE, *et al.* (2012) apresenta um modelo de regressão onde demonstra que a distância de extração afeta linearmente o custo da colheita, de modo que quanto maior a distância de extração maior o custo de colheita. O conhecimento desta relação já está consolidado, sendo que a DME já foi utilizada até mesmo para a otimização da extração de madeira na colheita florestal (MALINOVSKI *et al.*, 2006).

Também DE LIMA *et al.* (2017), em seu trabalho em plantios florestais nas regiões de *Misiones* e *Corrientes* na Argentina, conclui que a extração mecanizada de madeira se vê afetada principalmente pela distância de extração. Sendo que além do aumento de custos da atividade, têm-se uma redução significativa de produtividade do equipamento utilizado para dita operação.

Já TRAJANOV *et al.* (2013), avaliando os custos de transporte como indicadores para a determinação da densidade ótima de estradas florestais nas regiões de *Plackovica* e *Kozuf* localizadas nas montanhas da República da Macedônia (caracterizadas pelo difícil acesso aos maciços florestais) também chegou à conclusão de que a distância de extração da madeira está diretamente relacionada com o custo, além do baixo rendimento operacional, independente do sistema de extração escolhido, seja tração animal, trator de arraste ou sistema de cabos.

Todas essas afirmações se comprovam quando analisamos os estudos de LEITE, *et al.* (2012), onde numa variação de 150 para 300 m na DME, houve um aumento de 33% no tempo de extração, ou seja, grandes distâncias acarretam um maior dispêndio de tempo, logo, um aumento nos custos de extração. Seus estudos mostram que se deve planejar um ponto ótimo correspondente à DME em relação ao custo da malha viária.

MALINOVSKI (2006), diz que a distância média de extração da madeira é inversamente proporcional à densidade de estradas, ou seja, quanto maior a densidade de estradas, menor a DME. O mesmo autor (1991) fala sobre a interação das estradas primárias, secundárias, trilhas e ramais no contexto das estradas florestais. A localização estratégica dessas vias pode influenciar diretamente na eficiência da extração de madeira em plantios comerciais, impactando não apenas a logística, mas também a sustentabilidade das operações florestais.

Essas informações estão diretamente relacionadas com os resultados obtidos no presente estudo, sendo que a maneira como as estradas estarão dispostas no povoamento, poderá afetar diretamente a DME.

Assim, analisando os resultados desta pesquisa, podemos inferir que com uma mesma densidade de estradas a DME pode aumentar, caso as estradas não estejam bem alocadas no projeto. Isso faz com que a alocação das estradas nos povoamentos florestais, seja feita de maneira em que a DME seja a menor possível, levando-se em conta além dos cálculos de densidade ótima de estradas, o seu correto posicionamento quando forem construídas.

## 7 CONCLUSÃO

A densidade ótima de estradas pode ser considerada uma métrica útil para indicar se a quantidade de estradas é ideal, porém, não deve ser analisada individualmente, pois, a localização destas estradas pode afetar todos os custos associados a elas.

O presente estudo comprova que para uma mesma densidade de estradas, isto é, para uma mesma quantidade de estradas, a distância média de extração pode variar bastante conforme a alocação das mesmas. A diferença encontrada foi 11,09 % maior na Distância Média de Extração (DME) da feição classificada como “Talhões Irregulares”.

## 8 REFERÊNCIAS

BECKER, G. *Optimization of road network and transport systems: a pre-condition for an improved organization and design of labour in forestry*. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 1, 1994, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: UFPR/FUPEF, 1994. p. 111-115.

CARMO, F.C.A. *et al.* ANÁLISE DA DENSIDADE ÓTIMA DE ESTRADAS FLORESTAIS EM PROPRIEDADES RURAIS CERNE, vol. 19, núm. 3, setembro, 2013, p. 451-459 UFLA, Lavras-MG, Brasil.

DE LIMA, et al. *Productividad de la extracción con Skidders em cortas finales de Pinus taeda L. de Misiones e Corrientes*. JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RIOS, 31, 2017, Concordia – Argentina: **Anais [...]** Concordia: UNaM, 2017.

DIETZ, P. Parâmetros da rede viária florestal. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 4, 1983, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: FUPEF, 1983. p. 22-35.

HEINRICH, R. Forest road-net planning wood harvesting. Logging and transport in steep terrain. **FAO Forest Paper**, FAO, 1985. p. 55-66.

LEITE, E. S. *et al.* Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo “forwarder”. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.5, p.879-887, 2014.

MALINOVSK, R. A. *et al.* Otimização da distância de extração da madeira com o *forwarder*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, V. 36, n. 79, p. 171-179, 2008.

MALINOVSK, J. R. A combinação de fatores indispensáveis a exploração de florestas implantadas. *In: O DESAFIO DAS FLORESTAS NEOTROPICAIS*, 1, 1991, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: UFPR, 1991. p. 296-311.

MALINOVSK, J. R.; PERDONCINI, W. C. Estradas florestais. Irati: Colégio Florestal, 1990.

MALINOVISK, J. (1991). Forest roads. *In: Forest Engineering: Practice* (p. 299-315). Springer.

SPEIDEL, Gerhard. **Economia Florestal**. 1. Ed. Curitiba: UFPR, 1966.

TRAJANOV, et al. Transportation costs as an indicator for determination of the optimal road density. **FOREST REVIEW International Scientific Journal** Vol. 44, n. 1, p. 1-39, 2013.

ZAGONEL, R.; CORRÊA, C. M. C.; MALINOVSKI, J. R. Densidade ótima de estradas de uso florestal em áreas de relevo plano em povoamentos de pinus taeda no planalto Catarinense. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 33-41, 2008.