

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FRANCINY LIENY SOUZA

ANÁLISE MULTICRITERIAL PARA A DEFINIÇÃO DO TRAÇADO DE  
ESTRADAS FLORESTAIS

CURITIBA

2019

FRANCINY LIENY SOUZA

ANÁLISE MULTICRITERIAL PARA A DEFINIÇÃO DO TRAÇADO DE  
ESTRADAS FLORESTAIS

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Florestal do curso de pós-graduação em Gestão Florestal, Departamento de Economia Rural e Extensão, setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Bruna Nascimento de Vasconcellos

Co-Orientador: Marcos Benedito Schimalski

CURITIBA

2019

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi otimizar o processo de definição do traçado de estradas florestais associado a análise hierárquica de processos integrada em ambiente GIS. O estudo foi realizado no município de Campo Belo do Sul – SC, em uma área da empresa Florestal Gateados Ltda. Os mapas temáticos foram criados a partir das variáveis que a empresa utiliza para a definição de traçados e construção de estradas florestais, sendo elas: volume de madeira, posição solar, APP (Área de preservação permanente), declividade e cobertura do solo. Para a análise hierárquica de processos (AHP) os critérios foram analisados em pares, determinando os pesos, de 1, 3, 5, 7 e 9. A partir dos pesos definidos entre as linhas e as colunas, foram criados os seguintes cenários: 1) APP e Declividade; 2) APP, declividade e posição solar; 3) APP, declividade, posição solar e volume; 4) APP, declividade, posição solar, volume e cobertura. Foram utilizadas cinco variáveis para o estabelecimento de estradas florestais, sendo: volume de madeira, posição solar, APP, declividade e cobertura do solo, obtendo-se um índice de consistência de 0,04 e razão de consistência de 3,9%. De acordo com o mapa final, o melhor local para o estabelecimento de estradas florestais se encontra mais ao norte da área, cruzando poucas áreas de APP, menor declividade, maior área de efetivo plantio, buscando um maior volume de madeira nas estradas e melhor posição solar. Sugere-se a utilização de outras variáveis para diminuir os custos de construção de estradas, como a permanência de estradas principais bem como com revestimento primário. Outra sugestão seria a utilização da ferramenta *least cost path* para a definição do melhor traçado de estrada.

**Palavras-chave:** áreas de preservação, custo, otimização, GIS.

## ABSTRACT

The objective of this research was to optimize the process of definition of the forest road layout associated to the hierarchical analysis of processes integrated in the GIS environment. The study was carried out in the municipality of Campo Belo do Sul - SC, in an area of the company Florestal Gateados Ltda. The thematic maps were created from the variables that the company uses for the definition of tracings and construction of forest roads, being: wood volume, solar position, APP (Permanent preservation area), slope and land cover. For the analytic hierarchy of processes the criteria were analyzed in pairs, determining the weights, 1, 3, 5, 7 and 9. From the weights defined between the rows and columns, the following scenarios were created: 1) APP and Declivity; 2) APP, slope and solar position; 3) APP, declivity, solar position and volume; 4) APP, declivity, solar position, volume and coverage. Five variables were used for the establishment of forest roads, being: wood volume, solar position, APP, slope and soil cover, obtaining a consistency index of 0.04 and a consistency ratio of 3.9%. According to the final map, the best location for the establishment of forest roads is more to the north of the area, crossing few areas of APP, lower slope, greater area of effective planting, seeking a higher volume of wood on the roads and better position solar. It is suggested to use other variables to reduce the costs of road construction, such as main road maintenance as well as primary road. Another suggestion would be to use the least cost path tool to define the best road layout.

**Keywords:** cost, GIS, optimization, preservation areas.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.....	12
Figura 2. Fluxograma das etapas desenvolvidas.....	14
Figura 3. Mapa temático da APP de rios.....	22
Figura 4. Mapa temático da declividade.....	22
Figura 5. Mapa temático da posição solar.....	23
Figura 6. Mapa temático do volume.....	23
Figura 7. Mapa temático da cobertura do solo.....	24
Figura 8. Mapa do melhor local para o estabelecimento de estradas.....	25

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Escala de importância. ....	15
Tabela 2. Cenário 1. ....	19
Tabela 3. Cenário 2. ....	19
Tabela 4. Cenário 3. ....	20
Tabela 5. Cenário 4. ....	20
Tabela 6. Índice e razão de consistência para os cenários. ....	21
Tabela 7. Pesos das variáveis em hectares. ....	24

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
3.1 CARACTERIZAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO .....	12
3.2 RECURSOS.....	13
3.3 CRIAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS .....	14
3.4 ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS .....	15
3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS .....	17
<b>4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>19</b>
4.1 AHP .....	19
4.2 MAPAS TEMÁTICOS.....	22
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>27</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A rede viária é um elemento fundamental na implantação de um empreendimento florestal, pois é utilizada desde a abertura da área para o preparo do solo, servindo também de acesso ao povoamento, para as operações de manejo e proteção florestal. Durante a colheita e o transporte de madeira que as estradas assumem papel de destaque, influenciando significativamente no valor final do produto (ZAGONEL et al, 2008). Segundo Straka e Martin (2017), as estradas florestais são infraestruturas essenciais na proteção e reabilitação de áreas montanhosas, além de serem indispensáveis para fornecer acesso à colheita florestal. De acordo com Brundage (2015) a necessidade de acesso à madeira para a colheita é uma das situações que pode justificar a construção de estradas.

A temática referente as estradas têm recebido muita atenção nos últimos anos devido à sua função sobre as paisagens rurais e florestais e por seu papel na eficiência das operações de extração e transporte florestal (GRIGOLATO et al., 2013). De forma geral, as estradas possuem funções sociais, ambientais e econômicas, sendo o atendimento às demandas das operações de extração e transporte da madeira uma das economicamente mais importantes (SOUZA, 2016). Além disso, o objetivo principal das estradas deve ser o escoamento da madeira produzida com o menor custo e a maior garantia de abastecimento possível (MALINOVSKI, 2010).

Para garantir o abastecimento de madeira, o planejamento de estradas deve ser feito com muita atenção. Durante o planejamento da rede viária, torna-se de suma importância a observação de parâmetros técnicos e ecológicos, pois a não observação destes, poderá vir a ocasionar danos a florestas naturais, erosão e a alteração da produtividade, além de influenciar negativamente na economia da atividade. Além de que, a construção das estradas florestais objetiva alcançar o custo mínimo de transporte, combinando adequadamente a construção e manutenção das mesmas (DAVID, 1983 apud ROCHA et al., 2007).

O planejamento da rede viária deve ser realizado buscando fornecer o acesso às áreas de produção, permitindo o escoamento da madeira de forma eficiente, a otimização dos processos, minimização de custos e atendimento às demandas operacionais, contemplando também as questões sociais e ambientais das áreas. A falta de planejamento pode ocasionar um investimento excessivo em estradas e perda de área produtiva

(SOUZA, 2016).

O planejamento normalmente é feito pelos gestores, e de acordo com Portugal et al. (2013), seu principal desafio em logística e transporte em relação a estradas, é estabelecer o local mais adequado para construir novas estradas (determinar o traçado geométrico) e identificar os gargalos nas já existentes para propor alternativas mais eficientes.

O setor de estradas e transporte tem adquirido grande importância dentro do empreendimento florestal, uma vez que os custos do binômio estrada-transporte incidem significativamente sobre o valor final da madeira. Por isso, o uso de ferramentas como os Sistemas de Informação Geográfica (GIS) são importantes na otimização do transporte florestal rodoviário. O uso dessa tecnologia de informação espacial associada às variáveis relacionadas às estradas (geometria horizontal e vertical, qualidade da superfície da pista, largura, etc), possibilita maior eficiência na tomada de decisão (OLIVEIRA FILHO, et al, 2005).

Além do planejamento e da densidade de estradas eficiente na área, a definição do traçado também é de suma importância para que elas atendam aos padrões necessários ao transporte de madeira. Variáveis como declividade, posição solar, volumes de madeira devem ser considerados, além de evitar áreas de preservação permanente e mata nativa.

A adequação do traçado de estradas deve ter ressalvas, pois visto o alto custo de construção de estradas (MARCATTI, 2017), esta operação pode ser inviabilizada. Por isso o planejamento deve ser bem avaliado visando adequar traçados que sejam realmente necessários, ainda que a adequação se bem realizada, será uma alternativa melhor.

Métodos para a definição do melhor traçado das estradas, de acordo com Aydın and Eker (2012) citado por Akay e Yilmaz (2017) podem ser resolvidos com a utilização da análise multicritério integrada com o GIS.

As ferramentas de um GIS são relevantes em operações de definição de traçados, pois auxilia o planejador a definir quais áreas são acessíveis e quais não são, assim como a quantidade da estrada necessária para uma operação. Porém, de acordo com Saaty (2008), a definição de locais prioritários para a construção de estradas bem como a priorização dos critérios considerados é muito subjetiva, sendo necessário validação do processo através de estruturas que representam nossa melhor compreensão do fluxo de influências, o AHP (Análise Hierárquica de Processos).

O AHP é uma ferramenta de apoio à decisão que pode ser usada para resolver problemas complexos de decisão. Ele usa uma estrutura hierárquica de vários níveis de objetivos, critérios, subcritérios e alternativas. Os dados pertinentes são derivados usando um conjunto de comparações pareadas. Estas comparações são usadas para obter os pesos de importância dos critérios de decisão, e as medidas relativas de desempenho das alternativas em termos de cada critério individual de decisão. Se as comparações não são perfeitamente consistentes, então fornece um mecanismo para melhorar a consistência (TRIANANTAPHYLLOU e MANN, 1995).

Shiba (1995), cita que de fato, o método AHP ajuda o tomador de decisão a priorizar o objetivo e a formular um conjunto de critérios. O método também auxilia sistemática e logicamente na preparação de evidências para a seleção da alternativa de rede rodoviária mais adequada a partir da análise multicritério. Ou seja, a partir da comparação par a par de múltiplas variáveis é possível definir os critérios de importância e seus respectivos pesos, auxiliando na definição dos locais ótimos para estradas florestais.

De acordo com Samani et al. (2010), a utilização do AHP e GIS é um método eficiente para o planejamento de estradas, pois identifica os locais adequados e inadequados para a alocação da mesma além de determinar qual será a estrada mais eficiente.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Otimizar o processo de definição do traçado de estradas florestais associado a análise hierárquica de processos integrada em ambiente GIS.

### 2.2 ESPECIFICOS

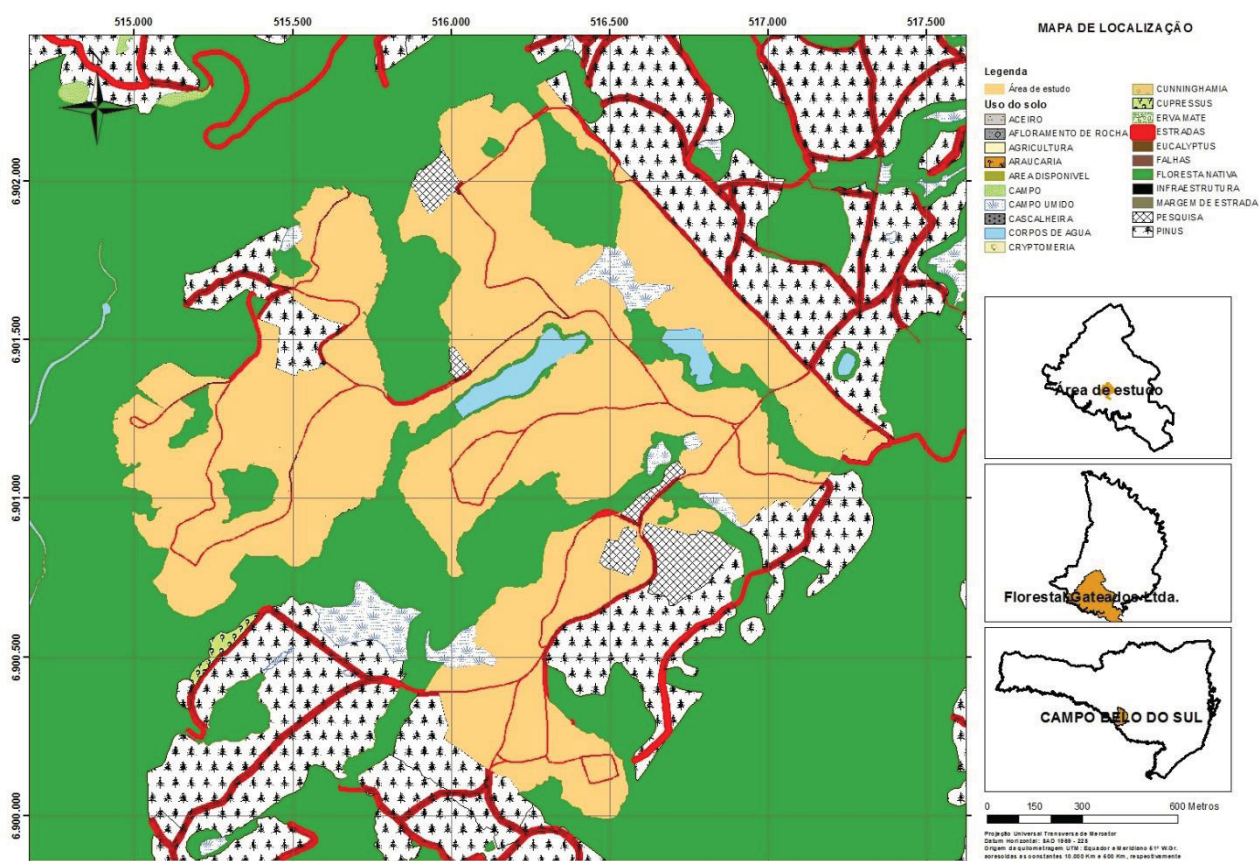
- a. Determinar as camadas efetivas para o planejamento da rede de estradas florestais: criar os mapas em formato matricial;
- b. Definir as variáveis de análise para o modelo: volume de madeira, posição solar, APP (Área de preservação permanente), declividade e cobertura do solo.
- c. Classificar as camadas efetivas e análise usando o método AHP: definir os pesos e determinar o índice e a razão de coerência para os pesos;
- d. Criar e categorizar o mapa obtido a partir de álgebra de mapas e pesos previamente definidos: redimensionar os valores contidos nos mapas matriciais e aplicar os pesos selecionados;
- e. Avaliar os traçados de estradas existentes e sugerir metodologias para novas rotas a partir do mapa gerado pelo AHP.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Campo Belo do Sul – SC (Figura 1), em uma área da empresa Florestal Gateados Ltda. O clima da região, segundo a classificação de Köppen para o Brasil, é Cfb (mesotérmico úmido, sem estação seca definida, verões frescos, com ocorrência de geadas severas e frequentes no inverno). De acordo com dados da Epagri (2018), a temperatura média anual está em torno de 15°C, a precipitação média anual é de 1400 mm e a altitude média do município é de 932 metros.

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: A autora.

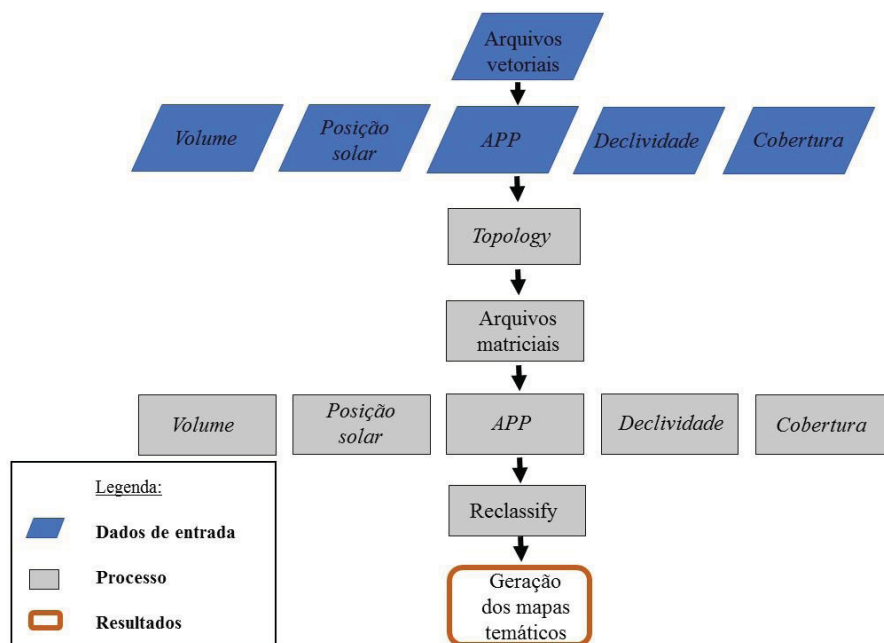
### 3.2 RECURSOS

Optou-se por criar um banco de dados geográficos no padrão da empresa. Este banco em formato Geodatabase (mdb) armazenou os seguintes dados: cobertura da terra (aceiro, afloramento de rocha agricultura, *Araucária*, área disponível, campo, campo úmido, cascalheira, corpos de água, *Criptoméria*, *Cunningamia*, *Cupressus*, erva mate, estradas, *Eucalyptus*, falhas, floresta nativa, infraestrutura, margem da estrada,, pesquisa, *Pinus*), hidrografia e malha viária (classificadas em estrada primária, secundária e terciária), que foram fornecidos pela empresa. O modelo digital de elevação (DEM) foi obtido a partir do voo do estado de Santa Catarina (SIGSC).

Os arquivos foram processados utilizando o aplicativo ArcGis10.2.1 com auxílio das extensões *3D Analyst* e *Spatial Analyst*. Para evitar erros de processamento, os arquivos foram submetidos a análise topológica, por meio da ferramenta *topology*. O objetivo desta etapa foi garantir a conectividade entre as linhas de uma rede, combinando polígonos adjacentes com características similares, identificar feições adjacentes, e sobrepor feições geográficas, bem como armazenar os dados de forma mais eficiente.

As ferramentas utilizadas para análise topológica foram, para polígonos: *Must be larger than cluster tolerance*, esta ferramenta identifica a distância mínima entre os vértices, não pode haver espaços. Para linhas: *must not overlap*, as linhas não devem sobrepor; *must not intersect*, as linhas não devem se cruzar. Para pontos: *must not intersect*, os pontos não podem se cruzar; *must not have pseudo nodes*, não deve ter pseudo nós, os pontos são criados apenas onde o final de uma linha toca o final de outra linha.

Figura 2. Fluxograma das etapas desenvolvidas.



Fonte: A autora.

### 3.3 CRIAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

Os mapas temáticos foram criados a partir das variáveis que a empresa utiliza para a definição de traçados e construção de estradas florestais, sendo elas: volume de madeira, posição solar, APP (Área de preservação permanente), declividade e cobertura do solo.

O volume de madeira foi obtido por meio do inventário da empresa. O inventário florestal é realizado baseando-se no processo de amostragem aleatória-sistemática e no método de área fixa. Em função das diferentes condições de floresta, as unidades amostrais, em todos os casos circulares, são instaladas com três diferentes tamanhos: de 3 a 6 anos a parcela possui raio de 5,50 metros e área de 95 ha; maiores de 6 anos a parcela possui raio de 12,62 metros e área de 500 ha.

A intensidade amostral das parcelas é definida com base nos dados de inventários florestais anteriores. Com base na variância das variáveis de interesse (número de árvores por hectare, diâmetro médio, altura dominante, área basal, volume individual médio e volume por hectare) é possível determinar o número de parcelas necessárias para se atingir um determinado nível de confiança (geralmente 95%).

Com os dados de volume e a posição georreferenciada de cada parcela foi possível interpolar um mapa temático de volumes para a área. Empregou-se a Geoestatística:

análise de tendência, normalidade, dependência espacial e variografia para a variável volume. Após o ajuste do variograma teórico optou-se pela Krigagem ordinária com posterior análise de correlação cruzada.

Os autores Samani et al. (2010) citam que para a construção de estradas as variáveis declividade, cobertura do solo, hidrografia, posição solar e volume de madeira podem influenciar as estradas florestais e devem ser consideradas no planejamento de estradas.

Segundo Akay e Erdas (2007), citado por Akay e Yilmaz (2017), fatores como declividade é um dos limitantes para o transporte de madeira, devido a greides de estradas muito elevados. Naghdi et al. (2010) citado por Norizah e Hasmadi (2012) utilizaram os fatores posição solar, textura do solo e declividade para o planejamento de estradas. Rafiei et al (2009) citaram que em suas análises os fatores posição solar, solo, declividade, geologia e volume de madeira foram utilizados como critérios para os projetos de estradas.

De acordo com Parskhoo (2016) a declividade, a profundidade do solo e a proximidade com a rede hidrográfica foram os parâmetros utilizados na preparação da camada de custo para a construção de estradas florestais.

### 3.4 ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS

Para a análise hierárquica de processos (AHP) os critérios foram analisados em pares, determinando os pesos, de 1, 3, 5, 7 e 9, onde 1 representa mesma importância da variável que está na linha sobre a coluna e o valor 9 significa que a variável que está na linha é absolutamente mais importante que a variável na coluna (Tabela 1).

Tabela 1. Escala de importância.

<b>Escala de importância</b>	<b>Definição</b>
1	Mesma importância entre a linha e coluna
3	Pouca importância da linha sobre a coluna
5	Forte importância da linha sobre a coluna
7	Muito forte a importância da linha sobre a coluna
9	Absoluta importância da linha sobre a coluna

Fonte: Akay e Yilmaz, 2017.

A partir dos pesos definidos entre as linhas e as colunas, foram criados os seguintes cenários:

- 1) APP e Declividade;
- 2) APP, declividade e posição solar;
- 3) APP, declividade, posição solar e volume;
- 4) APP, declividade, posição solar, volume e cobertura;

Estes cenários foram criados buscando verificar o que mais se ajusta com a realidade da empresa, utilizando em todos os cenários a APP e a declividade, que segundo a empresa são critérios importantes para a definição de traçados de estradas.

Após a atribuição pareada de importâncias, foi calculado a razão de consistência (RC) com o objetivo de verificar se os pesos atribuídos estão coerentes com a ponderação das variáveis. Os pesos foram aplicados aos mapas temáticos e então realizada a álgebra de mapas. Saaty (1980) sugere que o valor de CR deve ser menor que 0,1.

A utilização da análise multicritério busca definir quais locais seriam ótimos para o traçado de estradas florestais, e para a construção das mesmas busca-se locais de menor declividade, maior volume de madeira, orientação buscando a face leste, evitando o cruzamento com áreas de preservação permanente, bem como de matas nativas. (BAESSO e GONÇALVES, 2003; MACHADO, 2013).

Segundo Braz (1997) citado por Malinovski (2010), avaliar o volume de madeira que será transportado por uma estrada é de extrema importância, visto que poderá influenciar em aumentos de custo de construção de estradas por metro cúbico. Os custos com construção de estradas devem ser amortizados com o volume de madeira que será extraído (MACHADO, 1985).

A alocação das estradas também deve levar em conta a posição em relação a trajetória do sol ao longo do ano, visto a dificuldade em se realizar a bordadura dos talhões para que as estradas recebam maior posição solar.

Outro fator a ser considerado é a construção de estradas próximos a rios e nascentes. De acordo com Machado e Silva (2001), quando construídas próximas a cursos de água geram sete vezes mais sedimentos, que só podem ser minimizados com uma manutenção rigorosa do sistema de drenagem superficial e proteção vegetal dos taludes de corte e aterro. Além disso, os autores citam também que a água e o solo são os maiores

causadores de problemas em estradas, causando erosão e perda de solo, aumentando em áreas montanhosas. De acordo com Parsakhoo (2016) as estradas próximas aos rios têm potencial de entrega de sedimentos e deslizamentos de terra.

Além dos fatores ambientais, legislações ambientais e problemas operacionais de estradas próximas a cursos de água, outra preocupação é em relação as empresas certificadoras, que exigem que as águas provenientes de estradas não sejam direcionadas diretamente para áreas de preservação e que também se evite a construção de estradas que atravessem APP's.

A declividade do terreno delimita o tipo de equipamento para extração florestal, necessitando de um tipo adequado de rede viária florestal (MALINOVSKI e PERDONCINI, 1990), o que muitas vezes limita a escolha dos equipamentos a serem utilizados (AKAY e ERDAS, 2007). Outro problema causado pela declividade, além da extração, é o transporte de madeira, que em greides muito elevados dificulta o trânsito de caminhões (AKAY e ERDAS, 2007 apud AKAY e YILMAZ, 2017).

As matas ciliares e outros tipos de ambientes protegidos, caso de banhados, veredas, charcos, entre outros, são áreas naturalmente vulneráveis à construção de estradas. Estes ambientes são essenciais para a fauna e a flora, por isso devem ser mantidas intactas, sempre que possível, segundo o que determina a Lei (MACHADO e SILVA, 2001).

Algumas empresas florestais utilizam as estradas existentes na propriedade, fazendo melhorias e construindo apenas as vias complementares à medida que se tornam necessárias, e outras elaboram o planejamento e seguem à risca sua idealização, sendo esta a forma mais sensata para empresas que estão em busca de manejo sustentado de suas florestas. O traçado deverá utilizar preferencialmente os pontos que apresentem melhor estabilização de encostas, mantendo a menor densidade possível, uma distância de extração economicamente viável e largura suficiente para atender a passagem ou cruzamento de duas composições de transporte (CORRÊA et al, 2006).

### 3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para o processamento dos dados, primeiramente os arquivos vetoriais foram transformados em arquivos matriciais e posteriormente reclassificados. Após a

reclassificação dos arquivos foi gerado a álgebra de mapas. Os mapas foram gerados utilizando os pesos pré-definidos e sobrepondo-os.

Os pesos foram definidos da seguinte forma:

APP: peso 1: áreas que são APP; peso 9 áreas que não possuem APP;

Declividade: peso 3: foi atribuído a áreas com declividade maior que 30°; peso 5: áreas com declividade de 20 a 30°; peso 7: áreas com declividades entre 10 a 20°; peso 9: áreas com declividade menor que 10°.

Posição solar: peso 3: áreas que pegam muito pouco sol; peso 5: áreas que pegam pouco sol; peso 7: áreas que pegam sol; peso 9: áreas que pegam bastante sol ao longo dos dias.

Volume: peso 1: volumes até 77 m<sup>3</sup>; peso 3: volumes entre 77 e 94 m<sup>3</sup>; peso 5: volumes entre 94 e 110 m<sup>3</sup>; peso 7: volumes entre 110 e 128 m<sup>3</sup>; peso 9: volumes acima de 128 m<sup>3</sup>.

Cobertura: pesos 1: áreas de preservação; peso 5: áreas de mata nativa; peso 7: áreas de plantio.

Os pesos derivados para cada cenário via resultados AHP foram aplicados aos respectivos arquivos matriciais reclassificados, gerando um único mapa. A análise AHP foi implementada no Excel (formato analítico) e via ArcGIS 10.2.1 com a ferramenta.

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 AHP

Os dados apresentados na tabela 2 demonstram as análises pareadas utilizando duas variáveis bem como a porcentagem de importância de cada um. A declividade e a APP do rio possuem o mesmo nível de importância (1).

Tabela 2. Cenário 1.

	<b>Declividade</b>	<b>APP Rio</b>	<b>V</b>	<b>V (norm)%</b>
<b>Declividade</b>	1,0	1,0	1,0	50,0%
<b>APP Rio</b>	1,0	1,0	1,0	50,0%
<b>Soma</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>100%</b>

Legenda: V: Vetor = Peso; V norm: Vetor normal.

A tabela 3 mostra as análises pareadas utilizando três critérios, bem como suas respectivas importâncias. A APP de rio (7) é fortemente mais importante que a posição solar, a declividade (5) tem forte importância com a posição solar, já a APP de rio e a declividade possuem mesma importância. Em resumo, a APP de rio é mais importante que a declividade que é mais importante que a posição solar.

Tabela 3. Cenário 2.

	<b>Declividade</b>	<b>APP Rio</b>	<b>Posição solar</b>	<b>V</b>	<b>V (norm)%</b>
<b>Declividade</b>	1,0	1,0	5,0	1,7	43,5%
<b>APP Rio</b>	1,0	1,0	7,0	1,9	48,7%
<b>Posição solar</b>	0,2	0,1	1,0	0,3	7,8%
<b>Soma</b>	<b>2,2</b>	<b>2,1</b>	<b>13,0</b>	<b>3,9</b>	<b>100%</b>

Legenda: V: Vetor = Peso; V norm: Vetor normal.

Considerando quatro critérios (tabela 4), a APP de rio (7) possui muito forte importância que a posição solar, pouca importância (3) em relação ao volume e mesma importância que a declividade. A declividade (5) possui forte importância que a posição solar e pouca importância (3) em relação ao volume. O volume (5) possui forte importância em relação a posição solar. Analisando estes quatro critérios, a APP de rio possui maior importância que a declividade, volume e posição solar, nesta ordem.

Tabela 4. Cenário 3.

	<b>Declividade</b>	<b>APP Rio</b>	<b>Posição solar</b>	<b>Volume</b>	<b>V</b>	<b>V (norm)%</b>
<b>Declividade</b>	1,0	1,0	5,0	3,0	2,0	37,5%
<b>APP Rio</b>	1,0	1,0	7,0	3,0	2,1	40,8%
<b>Posição solar</b>	0,2	0,1	1,0	0,2	0,3	5,2%
<b>Volume</b>	0,3	0,3	5,0	1,0	0,9	16,5%
<b>Soma</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>18,0</b>	<b>7,2</b>	<b>5,2</b>	<b>100%</b>

Legenda: V: Vetor = Peso; V norm: Vetor normal.

Utilizando cinco critérios (tabela 5) a APP de rio é muito fortemente importante em relação a posição solar e a cobertura, pouco importante (3) em relação ao volume e possui mesma importância (1) em relação a declividade. A declividade (5) possui forte importância em relação a posição solar e cobertura, pouca importância (3) em relação ao volume e mesma importância (1) em relação a APP de rio. O volume (5) possui forte importância em relação a posição solar e pouca importância (3) em relação a cobertura. A cobertura (3) possui pouca importância em relação a posição solar.

Tabela 5. Cenário 4.

	<b>Declividade</b>	<b>APP Rio</b>	<b>Posição solar</b>	<b>Volume</b>	<b>Cobertura</b>	<b>V</b>	<b>V (norm)%</b>
<b>Declividade</b>	1,0	1,0	5,0	3,0	5,0	2,4	34,0%
<b>APP Rio</b>	1,0	1,0	7,0	3,0	7,0	2,7	38,9%
<b>Posição solar</b>	0,2	0,1	1,0	0,2	0,3	0,3	4,0%
<b>Volume</b>	0,3	0,3	5,0	1,0	3,0	1,1	15,9%
<b>Cobertura</b>	0,2	0,1	3,3	0,3	1,0	0,5	7,2%
<b>Soma</b>	<b>2,7</b>	<b>2,6</b>	<b>21,3</b>	<b>7,5</b>	<b>16,3</b>	<b>7,0</b>	<b>100%</b>

Legenda: V: Vetor = Peso; V norm: Vetor normal.

Em resumo, a APP de rio deve ser considerada como prioridade na definição de um traçado, seguido da declividade, volume de madeira, cobertura do solo e posição em relação ao sol.

Norizah e Hasmedi (2012) citam que a declividade foi o critério de maior importância entre APP, elevação e estradas existentes, possuindo peso de 0,558. Samani et al (2010) citam que para o planejamento de estradas florestais os critérios mais importantes foram declividade, rede hidrográfica, geologia e solo. Hayati et al (2013), observou que a declividade, a textura do solo e a suscetibilidade ao deslizamento foram

os três critérios mais importantes para o planejamento de estradas florestais, respectivamente.

Em comparação a outros trabalhos o resultado obtido foi diferente, podendo ser explicado pela importância que a empresa dá às áreas de preservação, não sendo permitido a construção de estradas em área de APP, com isso, o peso utilizado na matriz foi maior.

A declividade é um critério muito importante para o planejamento de estradas florestais visto que greides muito elevados dificultam o transporte de madeira (AKAY e ERDAS, 2007 citado por AKAY e YILMAZ, 2017). O volume de madeira também é importante no estabelecimento de estradas para amortizar o custo das estradas e atender um maior volume de madeira.

A tabela 6 apresenta os valores de razão de consistência. Com a utilização de cinco variáveis o IC foi de 0,04 e a razão de consistência 3,9%.

Tabela 6. Índice e razão de consistência para os cenários.

<b>Cenários</b>	<b>IC</b>	<b>CR</b>
1	0,00	-
2	0,01	1,2%
3	0,03	3,3%
4	0,04	3,9%

Legenda: IC: Índice de Consistência; CR: Razão de Consistência.

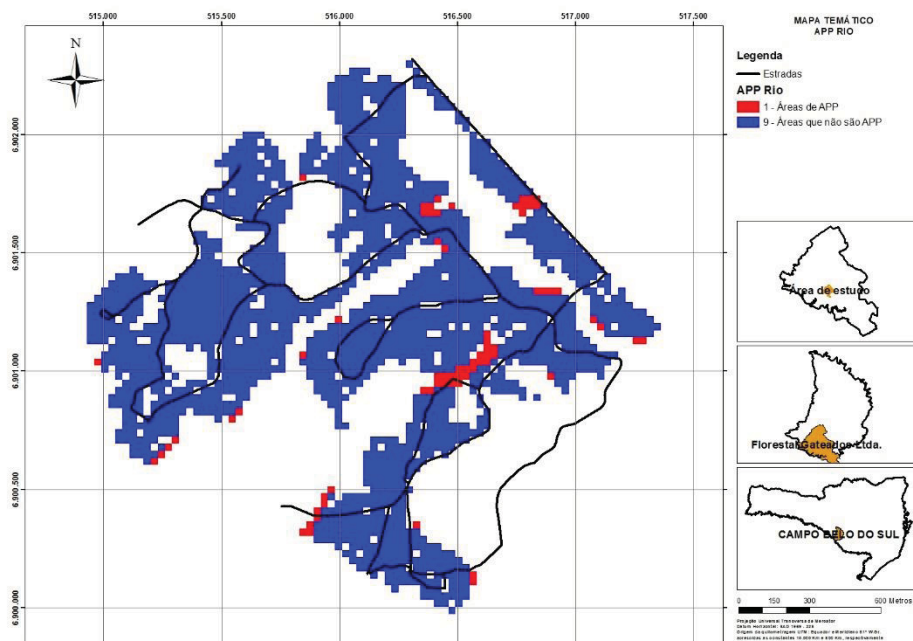
De acordo com Saaty (1977) citado por Norizah e Hasmadi (2012), valores abaixo de 1% de razão de consistência podem ser considerados aceitáveis e o peso do critério pode ser útil na tomada de decisão em uma matriz de 5 por 5.

Parsakhoo (2016) utilizou três parâmetros para determinar qual melhor local para a construção de estradas, são elas a declividade, profundidade do solo e proximidade com a rede hidrográfica. Hayati et al (2013), utilizou três critérios, declividade, a textura do solo e a suscetibilidade ao deslizamento para o planejamento de estradas florestais. Norizah e Hasmadi (2012) utilizaram quatro parâmetros para definir o melhor traçado para construção de estradas, sendo eles a declividade, proximidade com o rio, elevação e distância com a estrada existente. Samani et al (2010) também utilizou quatro variáveis, sendo: declividade, rede hidrográfica, geologia e solo. Nenhum dos autores citados justificaram o porquê da utilização destas quantidades de variáveis, assim, optou-se por utilizar 5 variáveis.

## 4.2 MAPAS TEMÁTICOS

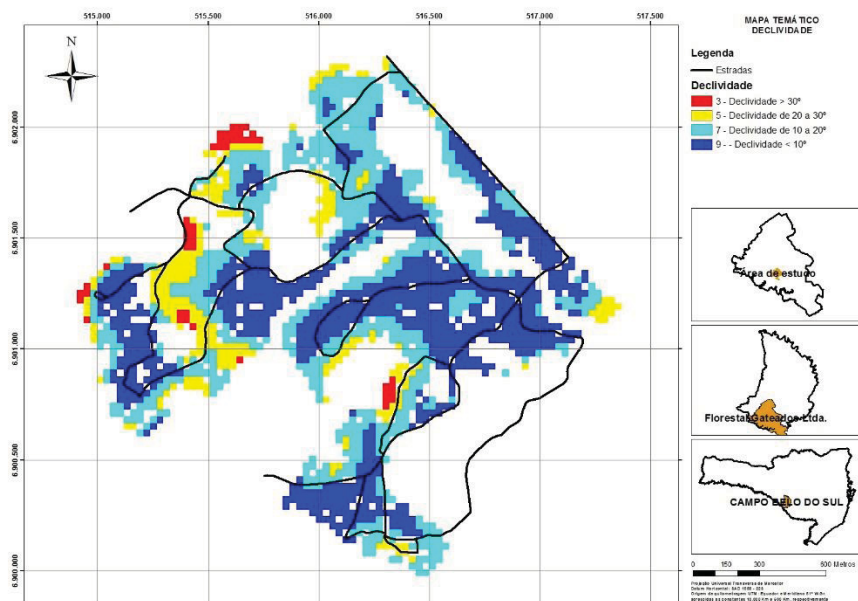
Os mapas temáticos gerados estão demonstrados nas figuras 3, 4, 5, 6 e 7.

Figura 3. Mapa temático da APP de rios.



Fonte: A autora.

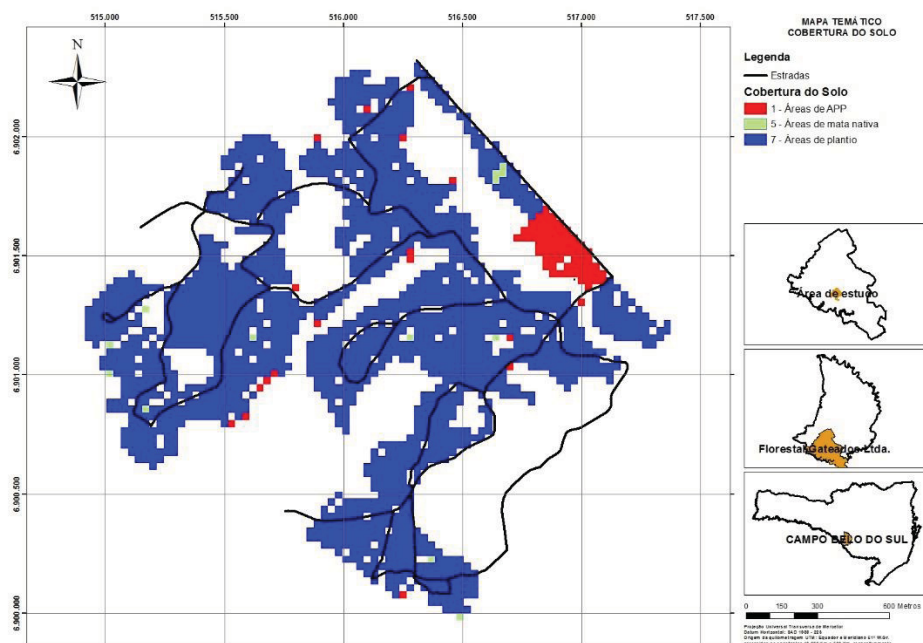
Figura 4. Mapa temático da declividade.



Fonte: A autora.



Figura 7. Mapa temático da cobertura do solo.



Fonte: A autora.

A tabela 6 mostra as áreas referente aos pesos de cada variável. Em relação a APP de rio, os locais sem APP (9) possuem área de 171,12 ha. Em relação a declividade, as áreas menos declivosas (7 e 9) somam 149,67 ha. Já para a posição solar, as áreas ensolaradas (7 e 9) somam 66,86 ha. A maior área em relação ao volume foi ocupada pelas menores classes de diâmetro (1 e 3). As áreas de maior volume (9) representaram 8% da área total somente. A cobertura do solo priorizando áreas de plantio (7) tem uma área de 169 hectares.

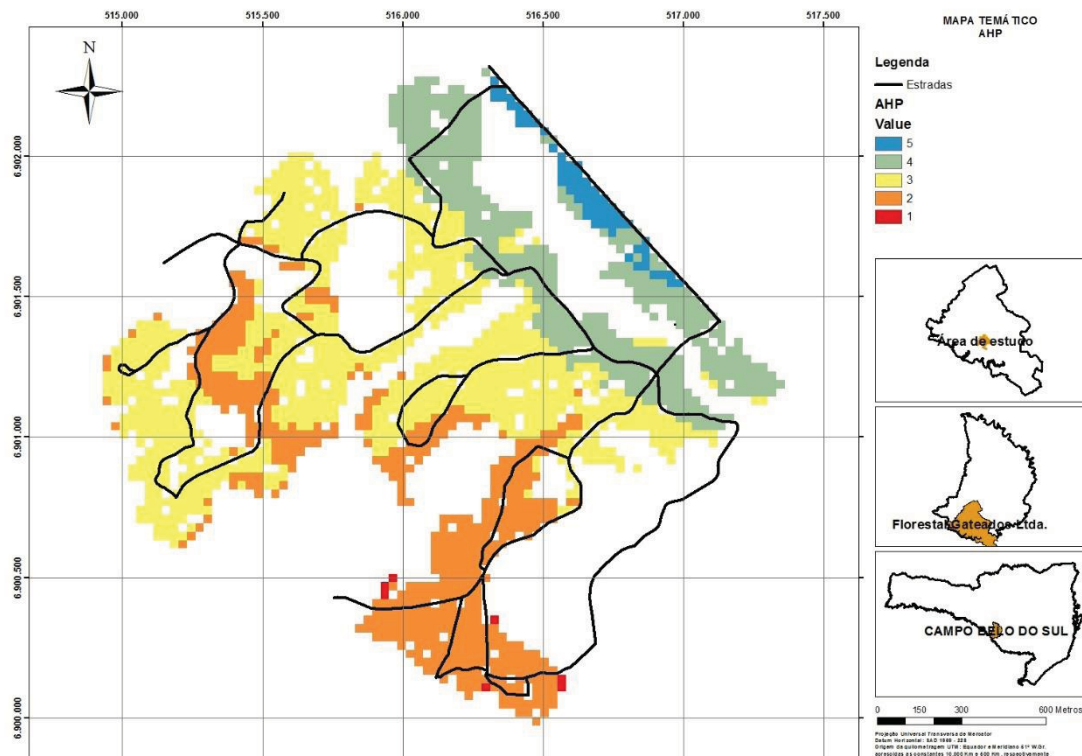
Tabela 7. Pesos das variáveis em hectares.

Variáveis	Pesos (ha)					Total
	1	3	5	7	9	
APP rio	6,00	-	-	-	171,12	177,12
Declividade	-	4,50	22,95	68,00	81,67	177,12
Insolação	-	44,65	65,61	19,59	47,27	177,12
Volume	26,90	81,00	27,10	27,59	14,53	177,12
Cobertura	7,00	-	1,12	169,00	-	177,12

A partir das cinco variáveis e pesos mostrados na tabela 6 obteve-se o mapa temático apresentado na figura 8. As melhores áreas para se construir estradas se

encontram mais ao norte da área de estudo.

Figura 8. Mapa do melhor local para o estabelecimento de estradas.



Fonte: A autora.

Comparando as estradas existentes com os melhores locais para o estabelecimento de estradas, observa-se que nenhuma está localizada em pontos bem críticos (classe 1), porém a maioria encontra-se entre as classes 2 e 3. A maior participação nestas áreas foi a questão dos volumes e posição solar. As mesmas devem ser revistas procurando atender a um maior volume de madeira por área, amortizando o custo de construção de estradas.

As melhores estradas encontram-se na parte norte da área, principalmente relacionadas a baixas declividades, altos volumes de madeira, e áreas de efetivo plantio como cobertura do solo.

Um fator importante que não foi utilizado como critério são as estradas existentes. Como exemplo, poderia ter sido utilizado a estrada principal de acesso a área, pois esta estrada é consolidada e já houve grande investimento na mesma, sendo inviável a readequação da mesma. Outro exemplo seria utilizar as estradas que já possuem revestimento primário.

Uma alternativa para a realocação de estradas seria a utilização da ferramenta *least cost path*, que define as estradas de menor custo utilizando as variáveis existentes. De acordo com Brundage (2015) a análise de custo mínimo determina a estrada menos custosa entre dois pontos, onde o custo de uma área é avaliado a partir de um conjunto de dados raster com valores de células iguais ao custo de cada célula. A ferramenta avalia os oito vizinhos de uma célula raster e determina qual célula vizinha terá o menor custo acumulado. Este processo se repete até que os pontos de início e fim sejam conectados.

De acordo com Norizah e Hasmadi (2012), atualmente, muitas pesquisas de estradas florestais são realizadas usando o método AHP para resolver problemas de melhorias nas redes rodoviárias com a integração com o GIS.

Rogers (2005) para projetar uma estrada florestal que os profissionais de operações pudessem utilizar em suas rotinas, utilizou o método AHP juntamente ao GIS. A utilização deste método é capaz de analisar rapidamente muitos fatores para o projeto de uma estrada, e projetar por meio do GIS a mesma, reduzindo os custos de construção.

Naghdi e Babapour (2009) prepararam o mapa de estabilidade usando a textura do solo e o leito rochoso. Os autores citaram que o uso de GIS e AHP pode ser um método útil para o planejamento de redes de estradas florestais em áreas montanhosas no Irã.

As redes de estradas florestais desempenham um papel especial na gestão, conservação e restauração. Assim, como o elemento mais importante de gestão no planejamento de longo prazo de projetos florestais que duram 10 anos, o projeto de uma rede viária adequada com prioridades ambientais, desenvolvimento sustentável, deve ser considerado em particular. Além disso, o uso de novas ciências, especialmente o sistema GIS de geografia, é possível em projetos, previsões e avaliações rápidas de rotas (FIROUZAN et al., 2010).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As camadas efetivas utilizadas para o planejamento de estradas florestais foram a APP, declividade, posição solar, volume e cobertura do solo. Sendo que, para a área de estudo, os melhores locais para o estabelecimento de estradas florestais se encontram mais ao norte da área.

Situações como: estradas existentes, revestimento primário e geologia poderiam ter sido utilizados como critérios para o estabelecimento de estradas florestais, adicionando ou substituindo outros critérios. É importante avaliar a disponibilidade dos dados de cada critério disponíveis nas empresas para a implantação desta metodologia, bem como a precisão dos dados.

O estudo pode ser aprimorado sugerindo traçados de estradas utilizando a ferramenta least cost path, buscando a rota de menor custo entre dois pontos.

Este estudo é importante para auxiliar pesquisadores nas áreas de AHP e GIS bem como dar embasamento para o planejamento de estradas em empresas florestais, visto que há poucos trabalhos no Brasil sobre a utilização do AHP e GIS para o estabelecimento de estradas florestais.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAY, A.E., ERDAŞ, O., Estimating Rut Depth During Skidding with a Rubber-Tired Skidder. SDU, **Faculty of Forestry Journal**, v. 1, p. 49-57, 2007.

AKAY, A. E., YILMAZ, B. Using gis and ahp for planning primer transportation of forest products. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Safranbolu, Karabuk, Turkey, V. IV-4/W4, 4th International GeoAdvances Workshop, 2017

AYDIN, A., EKER, R., Preparation of Slope Maps Using GIS Based Fuzzy Membership Model and Comparison with Classical Method: A Case Study of Avalanche Risk Assessment. **KSU Eng Sci Journal**, Special Issue, p. 206-212, 2012.

BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. **Estradas rurais: Técnicas adequadas de manutenção**. Florianópolis: DER, 2003. 236 p.

BRAZ, E. M. Otimização da rede de estradas secundárias em projetos de manejo sustentável de floresta tropical. **Circular técnica Embrapa**, Rio Branco, n. 15, 1997.

BRUNDAGE, E. H. **Seasonal road layout design in mountainous terrain using gis with the side hill and least cost path methods**. 51 f. Tese. Faculty of the Department of Geography. San José State University. 2015.

CORRÊA, C.M.C; MALINOVSKI, J. R.; ROLOFF, G. Bases para planejamento de rede viária em reflorestamento no sul do brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 36, n. 2, 2006.

DAVID, E. E. Transporte terrestre de madeira en la selva central. **Instituto Nacional forestaly de Fauna**, 1983.

EPAGRI, Atlas climatológico. 2018. Disponível em: <  
[http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=708&Itemid=484](http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=708&Itemid=484)>, acessado em 31 de agosto de 2018.

FIROUZAN, A.H., et al. Forest road network planning according to Environmental criteria In series 4 relating to tyrumrud forestry project. **Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment**. 2010.

GRIGOLATO, S.; PELLEGRINI, M.; CAVALLI, R.; Temporal analysis of the traffic loads on forest road networks. **Iforest**, v. 6, p. 255-261, 2013.

HAYATI, E. et al. Application of Sensitivity Analysis in Forest Road Networks Planning and Assessment. **J. Agr. Sci. Tech**. v. 15, p. 781-792, 2013.

- MACHADO, C. C. **Construção e conservação de estradas rurais e florestais**. Viçosa: UFV, 2013. 441 p.
- MACHADO, C. C. **Exploração Florestal - V Parte**. Viçosa: UFV, 1985. 138 p.
- MALINOVSKI, J. R.; PERDONCINI, W. C. **Estradas Florestais**. Irati: Publicação Técnica do Colégio de Irati, 1990. 100 p.
- MALINOVSKI, R. A. **Modelo matemático para otimização dos custos operacionais de transporte de toras com base na qualidade de estradas**. 2010. 180 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- MALINOVSKI, R. **Modelo matemático para otimização dos custos operacionais de transporte de toras com base na qualidade de estradas**. 180 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010.
- MARCATTI, G. E. **Otimização do traçado geométrico de estradas florestais**. 56 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.
- NAGHDI, R.; BABAPOUR, R. **Planning and evaluating of forest roads network with respect to environmental aspects via GIS application** Proceeding of Second International Conference on Environmental and Computer Science, P. 424-427, Dubai, 2009.
- NAGHDI, R., BAGHERI, I., GHAJAR, E., TAHERI, K. & HASANZAD, I. 2008. Planning the most appropriate forest road network considering soil drainage and stability using GIS in Shafaroud Watershed-Guilan. Disponível em: <[http://www.gisdevelopment.net/application/utility/transport/ma08\\_79.html](http://www.gisdevelopment.net/application/utility/transport/ma08_79.html)> 2010.
- NORIZAH, K.; HASMADI, I. M. Developing Priorities and Ranking for Suitable Forest Road Allocation using Analytic Hierarchy Process (AHP) in Peninsular Malaysia. **Sains Malaysiana**. v. 41, p. 1177–1185, 2012.
- OLIVEIRA FILHO, P. C. Determinação da rota ótima de transporte com auxílio de um sistema de informação geográfica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 403-409, 2005.
- PARSAKHOO, A. Metric measurements for optimization of forest road network alternatives in GIS-based programs. **Forest Science and Technology**. v. 12, n. 3, p. 153 – 161, 2016.
- PORTUGAL, C. R. M.; MACHADO, C. C.; SILVA, E. Gestão ambiental e impactos em estradas rurais e florestais. In: C. C. MACHADO (Ed.); **Construção e conservação de**

**estradas rurais e florestais.** p. 441, Viçosa, MG, 2013.

ROCHA, E. S. et al. Avaliação da densidade ótima de estradas florestais em dois sistemas de exploração florestal no estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 47, p. 49-58, 2007.

ROGERS, W. L. **Automating Contour Based Route Projection for Preliminary Forestry Road Design Using GIS.** Tese. Washington State University, Collage of Forest Resources. P. 87. 2005. Disponível em: <<http://www.ruraltech.org/pubs/theses/lwrogers/index.asp>>.

SAATY, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, p. 234-281, 1977.

SAATY, T.L. The Analytic hierarchy processes. **Springer**, 1980.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy and Analytic Network Measurement Processes: Applications to Decisions under Risk. **European journal of pure and applied mathematics.** v.1, n. 1, p. 122-196, 2008.

SAMANI, K.M. et al. Planning road network in mountain forests using GIS and Analytic Hierarchical Process (AHP). **Caspian J. Env. Sci.** v. 8, p. 151-162, 2010.

SHIBA, M. Analytic hierarchy process (AHP) based multi attribute benefit structure analysis of road network system in mountainous rural areas of Japan. **Journal of Forest Engineering.** v. 7, p.14-50, 1995.

SOUZA, F. L. **Densidade de estradas em povoamentos de *Pinus taeda* L. em regime de desbastes e corte raso.** 2016. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Lages, 2016.

STRAKA, T. J. MARTIN, T. A. An Evaluation of Stakeholder Perception Differences in Forest Road Assessment Factors Using the Analytic Hierarchy Process (AHP). **Forests.** v. 8, p. 165, 2017.

TRIANANTAPHYLLAOU, E.; MANN, S.H. Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: Some challenges. **International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practices**, p. 35-44, 1995.

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**, v. 36, n. 77, p. 33-41, 2008.