

## Análise de Processo Hierárquico para Gerir as Estradas Florestais

Robson José de Oliveira<sup>1</sup>, Carlos Cardoso Machado<sup>2</sup>,  
Sidney Araújo Cordeiro<sup>1</sup>, Hélio Garcia Leite<sup>2</sup>, Jadir Vieira da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Florestal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Campus Universitário Cinobelina Elvas, Bom Jesus/PI, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Florestal – DEF, Centro de Ciências Agrárias,  
Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa/MG, Brasil

<sup>3</sup>Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM,  
Diamantina/MG, Brasil

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo hierarquizar os defeitos mais importantes encontrados em duas empresas do setor de estradas florestais, localizadas nos estados de Minas Gerais e Bahia, onde foram aplicados questionários a engenheiros e professores que atuam nesta área. Por meio destes questionários, foram coletados dados sobre quantidade e severidade de sete defeitos – seção transversal inadequada, drenagem lateral imprópria, corrugação, excesso de poeira, buracos, trilha de roda e perda de agregados –, que foram analisados pelo método objetivo denominado Índice de Condição de Rodovias Não Pavimentadas (ICRNP). Com o intuito de garantir uma maior precisão para realizar inferência sobre os defeitos, utilizaram-se as Redes Neurais Artificiais (RNAs), listando, assim, por ordem de importância, os problemas mais graves que tornam a malha viária intrafegável. Os resultados mostram que 33% dos trechos analisados necessitam de maior urgência para a realização de manutenção, atingindo a classificação de muito pobre, o que pode causar empecilhos aos usuários desta estrada. Seção transversal inadequada e drenagem lateral imprópria foram os defeitos mais encontrados nas estradas.

**Palavras-chave:** hierarquia, defeitos, manutenção de estradas.

### Analytic Hierarchy Process Forthe Managementof Forest Roads

### ABSTRACT

The purpose of this study was to rank the most relevant defects found on the roads managed by two companies from the road management sector located in the states of Minas Gerais and Bahia. To this end, questionnaires were conducted with engineers and professors from the forest road area and data were collected on the amount and intensity of seven defects (inadequate cross sections, inappropriate lateral drainage, corrugation, excess dust, potholes, wheel track and aggregate loss), which were analyzed by the Unpaved Roads Condition Index (URCI) method. Aiming to provide greater accuracy on the assessment of the problems, Artificial Neural Network(ANN) techniques were employed in order to rankthe most serious defects thatcan make roads closed to traffic. Results show that 33% of the sections analyzed must undergo maintenance work, once they have reached the ‘very poor’ classification, which can cause hindrance to road users. Inadequate cross sectionsand inappropriate lateral drainagewere the most important defects found on the roads studied.

**Keywords:** hierarchy, defects, roads maintenance.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor rodoviário é responsável por mais de 70% das cargas transportadas no Brasil, bem como pela extensão das estradas públicas vicinais (Machado et al., 2006). A busca por técnicas eficientes, que respondam mais rapidamente e de maneira confiável, analisando-se os defeitos nas estradas florestais e visando a melhorar a trafegabilidade dessa malha viária, é crescente. Também, aliadas à tentativa de se reduzirem os custos do transporte, as pesquisas com Redes Neurais Artificiais se intensificam, buscando encontrar soluções, seja em empresas privadas, seja do setor florestal.

As atividades econômicas de qualquer país necessitam de uma infraestrutura de malha viária de qualidade, com estradas que possam ser utilizadas com segurança, estradas com manutenção frequente, com redes de drenagem, cada vez mais sinalizadas e com menos problemas, entre outras melhorias, com isso impulsionando o desenvolvimento (Machado et al., 2006).

Não apenas o transporte florestal, mas todo o transporte em geral vem sofrendo pressões de aumento dos custos, citando combustível, pedágio, fiscalização da quantidade de carga transportada e tempo de espera no carregamento e descarregamento. Todos esses aspectos fazem com que a utilização dessas estradas se dê em rodovias cada vez melhores, com trabalhos de fiscalização rotineiramente, para não deixar que o pavimento se deteriore cada vez mais rápido; caso tal deterioração esteja presente, que haja intervenção com recuperação, antes que esta evolua a ponto de impedir a trafegabilidade e não seja mais um fator que eleva o custo final do transporte (Lopes et al., 2006).

Mesmo apresentando grande importância econômica e social, são poucos os relatos sobre as vias de transporte florestal, o que leva à necessidade de desenvolvimento de pesquisas visando a encontrar alternativas que auxiliem a manutenção e a reabilitação dessas rodovias, com o emprego racional dos recursos técnicos e financeiros disponíveis advindos da infraestrutura de transportes. As vias de transporte representam aproximadamente 89% de toda malha rodoviária nacional e é composta

de estradas vicinais, das quais, 98% não são pavimentadas (Oliveira et al., 2007).

Os defeitos nas estradas correspondem a qualquer alteração na superfície da estrada que influencie negativamente as condições de rolamento, sendo que o estado de conservação de uma estrada depende da geometria horizontal e vertical, das características dos materiais, das intempéries, do tráfego e das práticas de manutenção e reabilitação. Uma boa estrada deve ter largura suficiente para acomodar o tráfego e capacidade de suportar as cargas das rodas dos veículos ao longo do tempo e sob diferentes condições climáticas; deve, também, apresentar um bom sistema de drenagem para evitar, dentre outros problemas, a erosão ou a perda de capacidade de suporte (Oda, 1995).

Os tipos de defeitos e as respectivas classificações dos seus graus de severidade estudados neste trabalho são baseados nos métodos de avaliação de estradas não pavimentadas contidos nos trabalhos de Moreira (2003), sendo analisados: buracos, corrugações, perda de agregados, poeira, seção transversal inadequada, trilha de roda e drenagem lateral imprópria.

A intervenção em rodovias, para realização de manutenção de maneira preventiva, reduz o custo operacional dos veículos. Para os usuários, a ação de melhorar o padrão da estrada é extremamente importante, porque uma estrada conservada e segura é sinal de trafegabilidade com segurança e com menos riscos de problemas nos veículos; com a melhora do padrão da estrada, reduzem-se também custos com logística, quando se pensa em transporte de carga, quer seja de madeira ou de qualquer produto transportado (Oliveira, 2008).

De acordo com Machado (2002), em seu trabalho voltado para a manutenção mecânica, a classificação dos métodos de manutenção é bastante variada. Isto também se observa ao se estudarem as manutenções de estradas florestais. Entretanto, para efeitos deste trabalho, a manutenção será dividida em corretiva e preventiva, sendo esta última subdividida em sistemática e de condição ou preditiva.

Para que uma boa manutenção seja efetivada numa estrada, deve-se ter em mãos um planejamento adequado para evitar perda de tempo e capital, englobando desde um inventário das condições de

trafegabilidade da estrada florestal, passando pela descrição dos defeitos encontrados, pela descrição e pelo método empregado para a medida dos defeitos, bem como uma tabela com atividades a serem executadas, por partes, para que uma tarefa não se sobreponha à outra; assim, com planejamento, reduzem-se custos, otimizando cada vez mais o trabalho (Oda, 1995).

Para classificar as condições da superfície estradal, existem inúmeros métodos, que são divididos em objetivos e subjetivos. Por trabalharem de acordo com índices de condições da superfície de rolamento, os métodos objetivos alcançaram uma aceitação maior por parte dos órgãos gestores tomadores de decisão, pelas empresas florestais e também por órgãos públicos do setor de estradas, por meio de pesquisas realizadas. Os métodos objetivos são métodos quantitativos e, por isso, dão suporte ao objetivo deste trabalho, que é realizar uma análise de processo hierárquico com base nos defeitos das estradas, verificando qual o problema de maior significância, para que seja feita intervenção nos aspectos de maior importância na manutenção das estradas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Segundo Thomas Saaty (1980), a análise de processo hierárquico é uma ferramenta que trabalha com comparação pareada, tomando-se dois defeitos ou duas variáveis, e comparando uma a uma, para saber qual é mais importante. Dessa forma, após realizar todas as combinações possíveis com todas as variáveis, acaba-se resultando em uma ordem que é uma hierarquia de importância, conforme uma escala pré-definida, conforme ilustrado na Tabela 1.

A partir do estabelecimento de critérios de comparação para cada combinação de fatores, foi possível determinar um conjunto ótimo de pesos que foram utilizados para a combinação dos diferentes mapas.

A utilização da Análise de Processo Hierárquico foi aplicada com o intuito de hierarquizar os defeitos nas estradas florestais, mostrando a importância de cada defeito e as consequências a que poderia levar um defeito na estrada, causando outros problemas. Com isso, obteve-se uma equação hierárquica ou de pesos, que é muito importante para se trabalhar

com redes neurais artificiais. A utilidade do método realiza-se no processo de tomada de decisões, minimizando suas falhas e comparando aos pares os defeitos, formando, assim, uma hierarquia entre os defeitos, desde o mais importante até o menos significativo.

Com essa comparação de dois a dois defeitos, foi aplicado um questionário, que foi respondido por pessoas que atuam na área de estradas florestais ou não pavimentadas. Essas pessoas analisaram e escolheram o mais importante, obtendo o imentadas obtivemos o grau de importedes neurais artificiais uma hierarquia de importância e, com o auxílio da Tabela 1, pôde-se chegar a uma equação que representasse a percentagem de cada defeito analisado perante os outros defeitos.

Por meio da equação dos defeitos, que determina a hierarquia de importância dos defeitos, obtêm-se os dados de entrada, que são as medidas dos defeitos no campo, e os dados de saída, que são os pesos, ou seja, cada percentagem de cada defeito multiplicado pela quantidade do problema encontrado em cada unidade amostral. A partir desses dados, entra-se no programa SNNS (*Stuttgart Neural Network Simulator*) que, basicamente, busca alcançar eficiência e alta flexibilidade no projeto e na aplicação de redes neurais, integrados em um só ambiente de simulação. Por meio dessa ferramenta, que possui grandes facilidades no que tange a

**Tabela 1.** Escala de valores da Análise de Processo Hierárquico.

**Table 1.** Scale of values Analysis of Hierarchic Process.

Importância	Definição e explicação
1	Importância igual - os dois fatores contribuem de maneira igual
3	Importância moderada - um fator é ligeiramente mais importante do que o outro
5	Importância essencial - um fator é claramente mais importante do que o outro
7	Importância demonstrada - um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema - a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamentos - possibilidade de compromissos adicionais

Fonte: Thomas Saaty (1980).

simulação, visualização e também implementação das redes, foi possível desenvolver um sistema de gestão de pavimentos de estradas florestais, obtendo-se o momento mais adequado para entrar com a manutenção da estrada ou verificar uma unidade que estiver em pior estado de conservação. Entretanto, a facilidade de uso, a compreensão e o suporte para diversas plataformas de *hardware* e *software* fazem dessa ferramenta uma ótima candidata para ser utilizada como instrumento didático em disciplinas introdutórias de redes neurais artificiais e em programas de manutenção de estradas (Oliveira, 2008).

A avaliação proposta por Eaton et al. (1987) envolve um método objetivo para o cálculo do índice de condição de rodovias não pavimentadas (ICRNP), que está baseado em valores de dedução, obtidos de acordo com os defeitos encontrados e os respectivos níveis de severidade do trecho estudado. Os defeitos são classificados de acordo com suas dimensões em relação à área do trecho em que ocorrem e, assim, as estradas são classificadas em função dos valores médios do ICRNP, indicando a integridade da rodovia e obedecendo a uma escala numérica, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2.** Classificação dos trechos da estrada segundo ICRNP.

**Table 2.** Rating stretches of road ICRNP according.

ICRNP	Classificação
0	Intransitável
10	Péssimo
25	Muito ruim
40	Ruim
55	Regular
70	Bom
85	Muito bom
100	Excelente

Fonte: Baesso & Gonçalves (2003).

**Tabela 3.** Percentual de cada defeito nas estradas florestais avaliadas.

**Table 3.** Defect Percentage of evaluated forest roads.

	Sti	Dli	Tr	Bu	Co	Pa	Po	Média
Sti	0,3195	0,3497	0,2712	0,3653	0,2602	0,2353	0,2449	0,2923
Dli	0,3195	0,3497	0,4068	0,3653	0,4337	0,2647	0,3265	0,3523
Tr	0,0799	0,0583	0,0678	0,0457	0,0867	0,1176	0,0816	0,0768
Bu	0,0799	0,0874	0,1356	0,0913	0,0867	0,1471	0,1633	0,113
Co	0,1065	0,0699	0,0678	0,0913	0,0867	0,1471	0,1224	0,0988
Pa	0,0399	0,0389	0,0169	0,0183	0,0173	0,0294	0,0204	0,0259
Po	0,0532	0,0437	0,0339	0,0228	0,0289	0,0588	0,0408	0,0403

Foram realizadas medições dos defeitos considerados mais importantes para estradas florestais de duas grandes empresas (denominadas de A e B) do setor florestal, uma localizada na região norte de Minas Gerais e a outra, na região norte da Bahia, totalizando 4.000 metros lineares. Primeiramente, foram coletados dados sobre quantidade e severidade dos sete defeitos (seção transversal inadequada, drenagem lateral imprópria, corrugação, excesso de poeira, buracos, trilha de roda e perda de agregados), que foram analisados pelo método objetivo ICRNP. Este método, por ser o mais aplicado aos defeitos mais importantes, foi o escolhido para a presente análise. Depois de medidos os defeitos nas estradas florestais em trechos divididos em unidades amostrais de 50 metros cada, usou-se o programa SNNS com base em redes neurais artificiais, para gerir melhor o pavimento florestal.

Os dados apresentados na Tabela 3 mostram na coluna das médias uma percentagem de importância de cada defeito, que é o somatório das multiplicações da quantidade de cada defeito analisado pela percentagem desse problema perante os outros, resultado da ponderação dos defeitos descrita na Equação 1.

$$H = 0,29\% sti + 0,35\% dli + 0,11\% bu + 0,10\% co + 0,08\% tr + 0,04\% po + 0,03\% PA, \tag{1}$$

em que: H = Valor dos defeitos ponderados, ou seja, a hierarquia de importância dos defeitos; sti = Seção Transversal Inadequada; dli = Drenagem Lateral Imprópria; tr = Trilha de Roda; bu = Buraco; co = Corrugação; po = Poeira; pa = Perda de Agregado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Percebe-se que os defeitos, como seção transversal inadequada e drenagem imprópria, são os mais significativos nas estradas florestais, pois juntos representam 64% dos problemas encontrados nas estradas florestais avaliadas neste trabalho.

A inexistência de um sistema de drenagem na pista de rolamento pode ser verificada facilmente pela presença de valetas cobertas por vegetação ou entulhos. Note-se que existe o sistema de drenagem, no entanto este não recebe a manutenção devida, pois valetas acabam por fazer parte desse sistema. A vegetação e o entulho existentes provocam empoçamentos, não transportando e nem direcionando adequadamente a água, e acarretando outros defeitos, como afundamento de trilhas de roda, buracos e, com o passar do tráfego, além de contribuir negativamente para a segurança e o conforto da viagem, interfere diretamente no custo operacional e na governabilidade dos veículos.

A seção transversal adequada tem, como principal função, não deixar as águas sobre a superfície estradal, permitindo uma drenagem eficiente para os dispositivos de captação e escoamento, e impedindo, dessa forma, a deterioração da estrada. Além destas funções, evita o aparecimento de outros problemas, como afundamento de trilhas de roda, corrugação e buracos, mantendo assim a segurança da pista em questão (Oliveira, 2008).

Diversamente, problemas como buracos provavelmente são provenientes de uma plataforma mal drenada, podendo esta ser ocasionada pela falta de abaulamento transversal que, com o tempo e as passadas das rodas dos veículos, piora e forma “painéis” na estrada, chegando a impedir completamente o tráfego, se o problema não for resolvido rapidamente.

O defeito do tipo afundamento de trilha de roda pode ser originado pela deformação permanente do subleito ou camada de revestimento, em função da baixa capacidade de suporte ou quando a drenagem da plataforma é deficiente; tem uma boa interferência sobre o nível de serventia da estrada e, geralmente, por serem contínuos ao longo do eixo paralelo da estrada, pode levar também à retenção de água sobre a pista, sem contar o desconforto da viagem.

O excesso de poeira está muito relacionado ao tipo de solo, ou seja, é um problema mais evidente em estradas com solo argiloso, onde existe uma grande quantidade de material solto na superfície ou onde a ação abrasiva do tráfego solta as partículas aglutinantes dos agregados (Oliveira, 2008). Em estradas de solo arenoso, formam-se pequenas nuvens que se assentam rapidamente, não interferindo na visibilidade dos motoristas. Sua causa se deve à abundância de material fino no leito da estrada, que forma nuvens de poeira na época de seca.

Com base na Tabela 4, as estradas pertencentes à empresa A, por possuir volume médio diário de tráfego (VMD) igual a 45 veículos/dia, enquadram-se na categoria IV. As estradas pertencentes à empresa B têm seu (VMD) igual a 50 veículos/dia, portanto enquadram-se na categoria III. Por apresentar um tráfego maior de veículos nas estradas da empresa B, esperava-se encontrar condições melhores de trafegabilidade, mas não foi o que foi comprovado pelo estudo. Percebe-se que os valores do ICRNP obtidos estão bem abaixo das faixas de ICRNP exigidas para o volume de tráfego de cada uma das categorias em que as estradas se enquadram (25,1-40 e 40,1-55, respectivamente). Na empresa A, o ramo 1 é o de pior estado de conservação, justificado pelo fato de existirem quatro unidades amostrais classificadas como muito pobre neste ramo contra nenhuma no ramo 2.

**Tabela 4.** ICRNP encontrados nas estradas florestais das duas empresas.

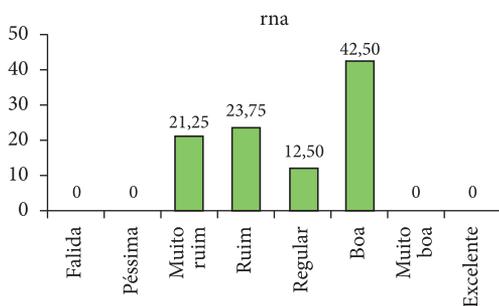
**Table 4.** URCI found in the forest roads of the two companies.

Empresa	Unidades amostrais	Ramo	Volume de tráfego	Categoria	ICRNP ideal	ICRNP encontrado
A	1/20	Ramo 1	0 a 49 Veículos/dia	Categoria IV	25 a 40	13
A	21-40	Ramo 2	0 a 49 Veículos/dia	Categoria IV	25 a 40	18
B	41-60	Ramo 1	50 a 99 Veículos/dia	Categoria III	40 a 55	8
B	61-80	Ramo 2	50 a 99 Veículos/dia	Categoria III	40 a 55	4

**Tabela 5.** Resultados nos levantamentos das estradas florestais das empresas.

**Table 5.** Surveys Results of the companies forest roads.

Empresa	Unidades amostrais	Percentagem	Classificação		
A	01-40	0	Intransitável		
		0	Péssima		
		10	Muito pobre		
		30	Pobre		
		17,5	Regular		
		42,5	Boa		
		0	Muito boa		
		0	Excelente		
		B	41-80	0	Intransitável
				0	Péssima
32,5	Muito pobre				
17,5	Pobre				
7,5	Regular				
42,5	Boa				
0	Muito boa				
0	Excelente				



**Figura 1.** Classificação das estradas pelo método RNA.

Diversamente, nas duas estradas da empresa B, foram encontrados valores muito inferiores ao ICRNP requerido, necessitando-se de uma manutenção mais urgente. No ramo 2, o ICRNP foi a metade do ramo 1, pelo fato de terem sido encontradas, nestas últimas vinte unidades, situações classificadas como muito pobre em 50% das unidades analisadas, além de apresentarem os mais baixos valores de ICRNP, inclusive contando com a unidade em pior estado de conservação, a de número 68, com defeitos que comprometem o desempenho operacional da estrada, tendo sido classificados pelos níveis alto e médio de severidade.

Percebe-se, com a Tabela 5 e a Figura 1, que a empresa B possui estradas em piores situações, sendo

possível notar que 32,5% das unidades analisadas são classificadas como muito pobre; na empresa A, apenas 10% têm esta classificação, em virtude de uma maior intervenção nas estradas em intervalos menores de tempo, melhorando as condições de trafegabilidade.

#### 4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados, verificou-se que os defeitos de maior ocorrência nas estradas analisadas foram seção transversal inadequada e drenagem lateral imprópria.

O uso de RNAs garantiu resultados mais precisos e confiáveis por se basear na interatividade dos defeitos encontrados, possibilitando a intervenção nos aspectos de maior importância na manutenção das estradas.

#### STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 11/12/2011

Aceito: 25/01/2013

Publicado: 28/02/2013

#### AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

**Robson José de Oliveira**

Departamento de Engenharia Florestal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus Universitário Cinobelina Elvas, Rod. BR-135, Km 03, CEP 64900-000, Bom Jesus, PI, Brasil  
e-mail: robson\_ufpi@yahoo.com.br

#### APOIO FINANCEIRO

CNPq - Bolsa de doutorado.

#### REFERÊNCIAS

Baesso DP, Gonçalves FLR. Estradas Rurais - *Técnicas adequadas de manutenção*. Florianópolis: DER; 2003. 236 p.

Eaton RA, Gerard S, Cate DW. *Rating unsurfaced roads – a field manual of measuring maintenance problems*. U. S. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory; 1987. p. 87-115. Special Report.

Lopes ES, Cristo JF, Pieper M. Avaliação técnica de um sistema de pesagem no carregamento florestal. *Revista Árvore* 2006; 30(4): 575-581. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000400010>

Machado CC. *Colheita Florestal*. 2rd ed. Viçosa: Editora UFV; 2002. 600 p.

Machado CC, Sant'Anna GL, Lima DC, Carvalho CAB, De Almeida A, Oliveira T. Durabilidade de solos estabilizados quimicamente com vistas á aplicação em estradas florestais. *Revista Árvore* 2006; 30(6): 981-988. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000600013>

Moreira FEB. *Um modelo de avaliação da evolução geométrica das patologias em vias não-pavimentadas: aplicação ao caso do município de Aquiraz* [dissertação]. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará; 2003. 176 p.

Oda S. *Caracterização de uma rede neural municipal de estradas não-pavimentadas* [dissertação]. São Carlos: Universidade de São Paulo; 1995. 186 p.

Oliveira RJ. *Gestão de pavimentos de estradas florestais com base em redes neurais artificiais* [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2008. 105 p.

Oliveira RJ, Machado CC, Carvalho CAB, Lima DC. Metodologias de previsão de defeitos em estradas florestais e levantamento da malha florestal. In: *Anais do VIII Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal*; 2007; Uberlândia. Uberlândia, 2007. p. 393-409.

Saaty TL. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. New York; London: McGraw-Hill c.1980. 287 p.