

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE REDES VIÁRIAS FLORESTAIS EM
FUNÇÃO DOS CUSTOS E DO RISCO DE EROSÃO**

FLÁVIA ALÉSSIO MARCELINO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (área de concentração em Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Dezembro - 2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE REDES VIÁRIAS FLORESTAIS EM
FUNÇÃO DOS CUSTOS E DO RISCO DE EROÇÃO**

FLÁVIA ALÉSSIO MARCELINO

Orientador: Prof. Dr. Paulo Torres Fenner
Co-orientador: Prof. Dr. Helmer Schack-Kirchner
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Maura S. T. Esperancini

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (área de concentração em Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Dezembro - 2007

FICHA CATALOGRAFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Marcelino, Flávia Aléssio, 1975-
M314a **Avaliação dos sistemas de redes viárias florestais em função dos custos e do risco de erosão / Flávia Aléssio Marcelino. - Botucatu: [s.n.], 2007.**
v, 129 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007

Orientador: Paulo Torres Fenner

Co-orientador: Helmer Schack-Kirchner

Co-orientador: Maura Seiko Tsutsui Esperancini

Inclui bibliografia

1. Estradas florestais. 2. GRASS. 3. Camalhão. 4. Erosão. I. Fenner, Paulo Torres. II. Schack-Kirchner, Helmer. III. Esperancini, Maura Seiko Tsutsui. IV. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. V. Título.

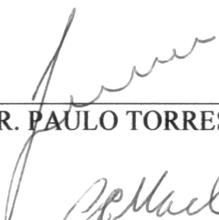
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE REDES VIÁRIAS FLORESTAIS EM
FUNÇÃO DOS CUSTOS E DO RISCO DE EROSÃO.**

ALUNA: FLÁVIA ALESSIO MARCELINO

ORIENTADOR: PROF. DR. PAULO TORRES FENNER

Aprovado pela Comissão Examinadora



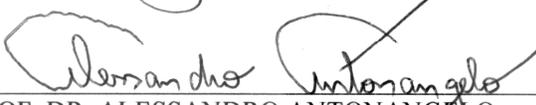
PROF. DR. PAULO TORRES FENNER



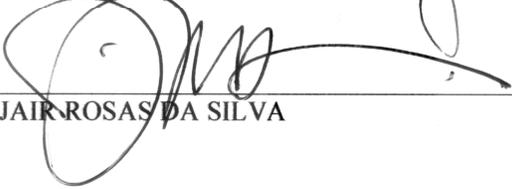
PROF. DR. CARLOS CARDOSO MACHADO



PROF. DR. ELIAS JOSÉ SIMON



PROF. DR. ALESSANDRO ANTONANGELO



DR. JAIR ROSAS DA SILVA

Data da Realização: 11 de dezembro de 2007.

*Aos meus pais Miguel e Léia,
a minha irmã Fernanda e sobrinhos Enzo e Ísis.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, pelo apoio ensino-estrutura e a CAPES, pela bolsa de estudos fornecida para a realização da minha pesquisa no Brasil e na Alemanha.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Energia na Agricultura.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Paulo Torres Fenner pelo constante incentivo, sempre indicando a direção a ser tomada nos momentos de maior dificuldade.

À professora Dr^a. Maura S.T. Esperancini pela co-orientação e amizade.

Ao Professor Ernst Hildebrand e principalmente ao meu co-orientador Helmer Schack-Kirchner do *Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre* da *Albert-Ludwigs-Universität*, em Freiburg, na Alemanha, pela receptividade e profissionalismo, que enriqueceram grande parte desta pesquisa.

À amiga Anette Leins, pela amizade eterna apesar da distância, e também por me receber de braços abertos em sua casa na Alemanha.

À amiga Fernanda Nascimento pelo incentivo dado à minha inicialização na pesquisa e as amigas Denise Mahl, Rosangela Moreci, Sandrinha Verza e Cecília Ohto, pela amizade inestimável.

As secretárias do Departamento de Ciências Florestais, Lurdinha e Sílvia, pelo apoio e amizade e as funcionárias da Secretaria de Pós-Graduação, Marilena, Marlene e Jaqueline, pelo auxílio nas informações. A Janaína pelas correções das referências bibliográficas e aos funcionários da Biblioteca UNESP – FCA.

Agradeço à minha prima Aline, pela disposição e ajuda nas correções finais.

Aos funcionários da empresa florestal e especialmente ao Eng^o. José Rezende, pela boa vontade e dedicação nas informações fornecidas.

Agradeço principalmente ao grande amigo Danilo que esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis, me dando apoio, tranquilidade e incentivando o meu trabalho!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE QUADROS	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO	iv
SUMMARY	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Evolução histórica das estradas	4
2.2 Transporte rodoviário no Brasil.....	5
2.3 Transporte florestal.....	7
2.4 Estradas não pavimentadas.....	8
2.4.1 Erosão do solo	11
2.4.2 Estradas florestais e suas influências no processo erosivo.....	12
2.4.3 Predição da erosão.....	15
2.4.4 Fator topográfico LS.....	17
2.5 Densidade das estradas	20
2.6 Construção das estradas.....	21
2.6.1 Topografia	23
2.6.2 Base da estrada	24
2.6.3 Limpeza	25
2.6.4 Terraplenagem.....	26
2.6.5 Abaulamento da base da estrada.....	27
2.6.6 Revestimento	28
2.6.7 Sistema de drenagem.....	29
2.6.8 Camalhão na pista de rolamento da estrada.....	32
2.7 Manutenção das estradas	35
2.7.1 Redes de drenagem.....	37
2.7.2 Superfície da pista de rolamento	38
2.7.3 Nivelamento da estrada	39
2.8 Geoprocessamento.....	41
2.9 Sistema de informações geográficas.....	42
2.9.1 Programa computacional Grass.....	44
2.10 Custos de produção no setor agropecuário.....	45
2.11 Custos das estradas	46
2.11.1 Custo de construção.....	48
2.11.1.1 Depreciação das estradas.....	48
2.11.2 Custo de manutenção.....	50
2.11.3 Custo de oportunidade.....	51
2.11.4 Taxa de juros	51
2.12 Avaliação de projetos de investimento.....	52
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	54

3.1	Material.....	54
3.1.1	Local	54
3.1.2	Máquinas e tratores utilizados	57
3.2	Métodos	57
3.2.1	Critérios para classificação das redes viárias florestais.....	57
3.2.1.1	Rede viária ortogonal.....	58
3.2.1.1.1	Estradas principais.....	58
3.2.1.1.2	Estradas secundárias.....	58
3.2.1.1.3	Carreadores de bordadura.....	58
3.2.1.2	Rede viária em nível.....	59
3.2.1.2.1	Estradas principais.....	59
3.2.1.2.2	Carreadores em nível.....	60
3.2.1.2.3	Carreadores em pendente.....	61
3.2.1.2.4	Carreadores de bordadura.....	62
3.2.2	Levantamento de dados	62
3.2.3	Descrição dos diferentes sistemas de redes viárias	64
3.2.4	Estimativa dos custos de construção	65
3.2.5	Depreciação das estradas	66
3.2.6	Estimativa do custo de manutenção anual.....	67
3.2.7	Estimativa do custo anual de oportunidade da terra.....	68
3.2.8	Estimativa do custo anual de oportunidade do capital investido na construção.....	68
3.2.9	Estimativa dos custos anuais das estradas	69
3.2.10	Estimativa do <i>payback</i>	69
3.2.11	Estimativa do valor presente líquido	70
3.2.12	Sistema de informações geográficas: GRASS.....	71
3.2.13	Programa estatístico R.....	71
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1	Características das redes viárias	73
4.2	Sistema de drenagem.....	79
4.2.1	Distância entre camalhões observados em campo.....	79
4.2.2	Distância entre camalhões no modelo teórico para fator topográfico LS igual a 1	81
4.2.3	Número de camalhões observados e calculados.....	82
4.2.4	Estimativa do número de camalhões	83
4.3	Custos de construção	84
4.4	Depreciação dos sistemas de redes viárias florestais	87
4.5	Custos de manutenção	89
4.6	Custo de oportunidade do uso da terra	90
4.7	Custo de oportunidade do capital investido na construção.....	92
4.8	Custos das estradas	94
4.9	Avaliação dos resultados econômicos	98
5	CONCLUSÕES	101
6	RECOMENDAÇÕES.....	103
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
	APÊNDICE	116

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Expoente do comprimento da rampa (m) para diferentes greides.....	19
Tabela 2: Classes de greide e tipos de relevo da microbacia.....	23
Tabela 3: Relação da distância entre bueiros e o greide da estrada.....	31
Tabela 4: Limite máximo de espaçamento entre caixas d'água e greide da estrada.	32
Tabela 5: Distância entre camalhões em função do greide.	34
Tabela 6: Máquinas utilizadas na construção e manutenção de estradas.	57

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1: Características das áreas que se encontram as redes viárias.....	73
Quadro 2: Características dimensionais das redes viárias.....	76
Quadro 3: Distância entre camalhões conforme o greide da estrada.....	80
Quadro 4: Distância entre camalhões, para manter um fator topográfico LS igual 1 segundo o greide da estrada.....	81
Quadro 5: Número de camalhões da rede viária ortogonal e em nível.	83
Quadro 6: Equação para estimar o número de camalhões por km para manter fator topográfico LS igual a 1 em função do greide.	84
Quadro 7: Custos operacionais das máquinas utilizadas na construção de estradas.	84
Quadro 8: Custo de construção das redes viárias Ortogonal 1 e 2.	85
Quadro 9: Custo de construção da rede viária Readequada 1.	86
Quadro 10: Custo de construção da rede viária Readequada 2.	86
Quadro 11: Custo de construção da rede viária Nível.	87
Quadro 12: Depreciação anual da rede viária Ortogonal 1 (pelo método linear) e Ortogonal 2 (pelo saldo decrescente).	88
Quadro 13: Custo anual de manutenção das redes viárias Ortogonal 1 e 2.....	89
Quadro 14: Custo anual de manutenção da rede viária Readequada 1.....	89
Quadro 15: Custo anual de manutenção das redes Readequada 2 e Nível.	90
Quadro 16: Custo anual de oportunidade da terra das redes viárias Ortogonal 1 e 2.....	91
Quadro 17: Custo anual de oportunidade da terra das redes viárias Nível, Readequada 1 e 2.	92
Quadro 18: Custo anual de oportunidade do capital das redes viárias Ortogonal 1 e 2.	92
Quadro 19: Custo anual de oportunidade do capital da rede viária Readequada 1.	93
Quadro 20: Custo anual de oportunidade do capital da rede viária Readequada 2.	93
Quadro 21: Custo anual de oportunidade do capital da rede viária Nível.	94
Quadro 22: Custos anuais das estradas dos sistemas de rede viária florestal.....	94
Quadro 23: Custo anual de estrada por hectare para os sistemas de rede viária florestal.	98
Quadro 24: Período de retorno do investimento da mudança da rede viária Ortogonal 1 para a rede viária Readequada 2.	99
Quadro 25: Valor atual dos custos de construção e manutenção dos sistemas de rede viária florestal.	100

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Distribuição do sistema modal brasileiro.....	6
Figura 2: Malha rodoviária do Brasil e do estado de São Paulo.....	9
Figura 3: Situação das estradas no Brasil e no Estado de São Paulo.....	10
Figura 4: Representação esquemática da seqüência de operações para construir uma estrada florestal.....	22
Figura 5: Plataforma de uma estrada florestal e seus componentes.	25
Figura 6: Estrada com camalhão transversal.....	33
Figura 7: Estrada com camalhão inclinado.	34
Figura 8: Área rural de reflorestamento, onde (A) rede viária ortogonal e (B) rede viária em nível.....	55
Figura 9: Áreas referentes à classe de solo da propriedade de reflorestamento.	56
Figura 10: Perfil do abaulamento da estrada principal.	59
Figura 11: Perfil do carreador em nível.....	60
Figura 12: Passagem molhada no carreador de fundo ou no final do carreador em pendente. .	61
Figura 13: Passagem molhada ao final de um carreador em nível.	61
Figura 14: Trechos percorridos da rede viária ortogonal (A) e da rede viária em nível (B).	63
Figura 15: Malha viária dos sistemas de redes viárias.	65
Figura 16: Localização das estradas nas redes viárias, ortogonal e em nível.....	74
Figura 17: Densidade de estradas das redes viárias.....	75
Figura 18: Porcentagem das estradas classificadas da rede viária ortogonal e em nível.....	76
Figura 19: Estradas principal e secundária da rede viária ortogonal.	77
Figura 20: Estradas da rede viária em nível.	78
Figura 21: Estradas atuais e estradas ortogonais eliminadas.....	79
Figura 22: Distância entre camalhões (DC) existentes na rede viária ortogonal e em nível, em função do greide (G) e da área considerada em campo.	80
Figura 23: Distância entre camalhões, segundo o greide e o fator topográfico LS da rampa da estrada.	82
Figura 24: Formação dos custos anuais das estradas dos sistemas de redes viárias florestais. .	96
Figura 25: Custos anuais de estradas e suas respectivas porcentagens dos sistemas simulados de redes viárias florestais.	97

RESUMO

A rede viária é fundamental para o desenvolvimento das atividades florestais. As estradas florestais são importantes vias de acesso às florestas, servindo para viabilizar o tráfego de mão-de-obra e dos meios de produção necessários para implantação, proteção, colheita e transporte dos produtos florestais. A construção inapropriada e a manutenção inadequada das estradas são as principais causas da erosão, logo, os sedimentos das estradas florestais carregados para os cursos d'água representam impactos ambientais negativos aos recursos naturais. Desta forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar diferentes sistemas de redes viárias florestais em função dos custos e do risco de erosão. Para a identificação das redes viárias e quantidade de camalhões no sistema de drenagem, utilizou-se o programa computacional SIG-GRASS. O camalhão pode ser um recurso de controle de erosão em estradas florestais, por isso foi estudado uma classificação de distância entre camalhões para manter o fator topográfico LS igual a 1. A aplicação do modelo teórico de distância entre camalhões desenvolvido neste trabalho possibilita dimensionar corretamente o número de camalhões necessários para controlar o risco de erosão em estradas florestais não pavimentadas. Foram estimados os custos anuais de estradas para diferentes sistemas de redes viárias florestais (Ortogonal 1, Ortogonal 2, Readequada 1, Readequada 2 e Nível). Os custos anuais de estradas são compostos pela depreciação, custos de manutenção, custos de oportunidade do capital e custos de oportunidade da terra. O principal custo de estrada da rede viária Ortogonal 1 e 2 foi a manutenção. Entretanto, nas redes viárias Readequada 1 e 2, e Nível o principal custo de estrada foi o custo de oportunidade de capital. Conseqüentemente, com um planejamento adequado da rede viária florestal, conseguem-se menores custos de manutenção, maior vida útil da estrada, além de minimizar os impactos negativos causados pelas estradas, principalmente a erosão e o assoreamento de rios.

Palavras-chaves: estradas florestais, GRASS, camalhão, fator topográfico.

EVALUATION OF ROADWAY FOREST SYSTEM IN FUNCTION OF COSTS AND EROSION RISK. Botucatu, 2007. 129 p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FLAVIA ALESSIO MARCELINO

Adviser: PAULO TORRES FENNER

SUMMARY

A roadway system is essential for forest activities development. Road forests are important access ways to the forest areas, being a useful tool to facilitate workers and vehicles traffic to implementation, protection, harvesting and transport of forest products. Roads inappropriate building and maintenance are the main causes of erosion; therefore, road forest sediments carried by water courses represent negative environmental impact to natural resources. Therefore, this study aimed to evaluate different roadway forest systems in function of costs and erosion risk. The software SIG-GRASS was used for road system identification and cross drains quantification in drainage system. Cross drains could be a resource used to control erosion in forest roads network. Thus, it was studied a classification of distances between cross drains to maintain a LS topographic factor equal 1. Theoretical model application for distance between cross drains may help correctly measurement of cross drain numbers necessary to control erosion risk in unpaved forest roads. Annual costs of roads in different roadway forest networks were estimated (Orthogonal 1, Orthogonal 2, Readequacy 1, Readequacy 2 and Level). Annual costs of roads are composed by depreciation, maintenance costs, capital opportunity costs and land opportunity costs. The main cost of Orthogonal roadway system 1 and 2 was the maintenance. Otherwise, in Readequacy 1 and 2, and Level roadway system the main road cost was with capital opportunity. Consequently, with an adequate forest roadway network planning the costs with maintenance could be reduced, roads life span could be increased and reduce negative impacts caused by roads, mainly erosion and sediments accumulation in rivers.

Keywords: forest roads, GRASS, cross drain, topographic factor.

1 INTRODUÇÃO

A malha viária de qualquer país é de importância vital para sua economia, e as condições de suas propriedades físicas de sua infra-estrutura são primordiais. Sem manutenção adequada e constante, as rodovias convencionais e rurais inexoravelmente irão se deteriorar, aumentando os custos operacionais dos veículos, o número de acidentes e reduzindo a confiabilidade nos serviços de transporte (OLIVEIRA, 2005).

As atividades de colheita e transporte florestal representam aproximadamente 60 a 70% dos custos totais da produção florestal. Com o planejamento e execução realizados corretamente, resulta em um aperfeiçoamento da produção, que justifica esforços nessas importantes áreas do setor florestal (ESTRADAS..., 2006 b).

Segundo Machado (1989), o transporte da madeira está intimamente associado às condições de trafegabilidade das estradas, portanto, as estradas florestais são importantes vias de acesso às florestas, servindo para viabilizar o tráfego de mão-de-obra e os meios de produção necessários para implantação, proteção, colheita e transporte dos produtos florestais. As estradas florestais têm como principal papel garantir o abastecimento das indústrias e têm como características o baixo volume de tráfego, às vezes temporário, e o tráfego pesado e extrapesado, por meio de veículos com capacidade de carga entre 30 e 40 toneladas e de veículos com carga acima de 40 toneladas, respectivamente.

Na década de 1980, estimava-se a extensão da malha rodoviária florestal brasileira em 600 mil quilômetros, podendo este número ter aumentado consideravelmente com o decorrer das novas ampliações das empresas florestais. Também,

aumentaram nos últimos anos as exigências em termos de solicitações dessas estradas, devido ao aumento do volume de tráfego de veículos de alta tonelagem, ao aumento das distâncias de transporte em rodovias de baixa qualidade, à necessidade de trafegabilidade durante todo o ano, e à necessidade de estradas com maior vida útil. Por isto, as redes viárias têm adquirido grande importância dentro do empreendimento florestal, uma vez que os custos do binômio estrada-transporte incidem, significativamente, sobre o valor final da madeira (MACHADO; MALINOVSKI, 1986).

Segundo Comastri e Carvalho (1981), as estradas podem ser classificadas de acordo com a sua importância, o tipo de construção e o material empregado. Segundo Machado (1989) existem no Brasil divergências quanto à qualidade da rede rodoviária florestal entre as regiões e as empresas do setor, devendo ser ressaltado que poucas possuem um sistema de classificação próprio com seus respectivos padrões, em virtude da inexistência de uma classificação de estradas florestais em nível nacional.

Outro aspecto importante diz respeito ao padrão das estradas, uma vez que ele influencia os custos de construção, de manutenção e de transporte, especialmente através de sua geometria horizontal e vertical, da qualidade da superfície da pista de rolamento e da largura. O padrão também influencia o desempenho energético dos veículos, a durabilidade dos pneus e a eficiência operacional dos veículos (MACHADO, 1989).

Quando o serviço de manutenção é protelado, às vezes envolverá uma reabilitação mais extensiva, ou mesmo reconstrução, custando muitas vezes mais do que um simples reparo efetuado antecipadamente. A necessidade de proteger a malha viária existente e conservá-la em boas condições tornou-se indispensável, tendo geralmente precedência sobre novos investimentos (OLIVEIRA, 2005).

A construção inapropriada e a manutenção inadequada das estradas são as principais origens de erosão e de produção de sedimentos, provocados pelo homem e representam um impacto aos recursos naturais, podendo causar perdas econômicas (FAO, 1989). Além da importância socioeconômica e ambiental, as estradas possuem papel crucial nos custos de colheita e transporte de madeira.

Partiu-se da hipótese de que o risco de erosão e os custos são maiores quando não há planejamento da implantação da rede viária florestal.

O objetivo geral foi avaliar os diferentes sistemas de redes viárias florestais em função dos custos e do risco de erosão. Os objetivos específicos foram: elaborar um modelo teórico de distância entre camalhões em função do risco de erosão; estimar os custos anuais de estradas; os indicadores econômicos de investimento *payback* e valor presente líquido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Evolução histórica das estradas

A mais antiga estrada de que se tem registro, a estrada real da Pérsia, é contemporânea dos primeiros veículos de rodas, surgidos por volta do ano 3000 a.C. Ligava as civilizações da Mesopotâmia e do Egito e estendia-se do golfo Pérsico ao mar Egeu, num percurso de 2.857 km que unia a Pérsia à Turquia, Grécia e Egito. Foi o primeiro grande sistema de rodovias, formado de estradas que se interligavam, criavam grandes centros de caravanas e permitiam intensa troca comercial entre regiões distantes (RODOVIAS, 2007).

As primeiras estradas européias conhecidas são as "rotas do âmbar", usadas provavelmente entre os anos de 1900 e 300 a.C. por comerciantes etruscos e gregos para transportar âmbar e metais do norte da Europa a diversos pontos do litoral do Mediterrâneo e do Adriático. Ligavam a Grécia e a Toscana, na Itália, ao mar Báltico por um conjunto de rotas e ramificações em diversas direções e que alcançavam os mais distantes centros comerciais. De modo geral, seguiam um curso paralelo aos dos grandes rios e lagos da região nordeste da Europa. Na construção de diversos trechos, como indicam vestígios encontrados nos Países Baixos, Alemanha, Polônia, Letônia, Suécia e Rússia, utilizava-se toras de madeira dispostas sobre camadas de galhos e cobertas com uma mistura de areia e cascalho. Em algumas delas, valas laterais permitiam a drenagem da água das chuvas (RODOVIAS, 2007).

Com os romanos, a engenharia rodoviária atingiu o ponto máximo de eficiência e aprimoramento tecnológico da antiguidade. As estradas tinham a função dupla de conquistar territórios e preservá-los. No auge do poder do Império Romano, foram construídos perto de 85.000 km de estradas que ligavam a capital às fronteiras mais distantes do Império. Irradiavam de Roma vinte e nove estradas militares, das quais a mais conhecida é a via Ápia, que se estendia por 660 km. Há divergências sobre a origem dos métodos romanos de construção de estradas, mas é consenso que seus principais mestres foram etruscos do norte da Itália. Os romanos incorporaram também técnicas aprendidas de diversos outros povos, como os cartaginenses, fenícios e egípcios (ARQUITETURA..., 2007).

As estradas romanas eram construídas em seções retas e planas, evitando obstáculos como colinas e pântanos. A construção variava para se adaptar às condições locais, mas, geralmente, estava formada por uma fundação de grandes pedras (statumen) cobertas por pedras menores (rudus) que facilitavam a drenagem, ou cobertas com lajes de pedra de calçamento (pavimentum). A estrutura possuía uma parte alta com drenagem dos dois lados, ampla o suficiente para a passagem de duas carruagens ao mesmo tempo. As estradas eram bem construídas e muitas existem até hoje (ARQUITETURA..., 2007).

Quando a primeira estrada brasileira foi inaugurada em 1861, a qual ocasionou admiração com a velocidade que a pista proporcionava. D. Pedro II e uma grande comitiva percorreram o vistoso caminho de Petrópolis no estado do Rio de Janeiro a Juiz de Fora em Minas gerais. As diligências cruzaram a estrada recém inaugurada à fantástica velocidade de 20 quilômetros por hora. As rodovias propriamente ditas só chegaram ao Brasil anos depois. Na década de 1920, o então governador de São Paulo, Washington Luís, já dizia uma frase que se tornaria famosa: "governar é abrir estradas" (AS PRIMEIRAS..., 2007).

2.2 Transporte rodoviário no Brasil

Segundo Alvarenga e Novaes (1997), o transporte é parte essencial na movimentação de pessoas ou matérias-primas. Mais recentemente, a indústria e o comércio, de uma maneira geral, passaram a se preocupar bastante com a qualidade dos serviços de transporte.

Na Figura 1, observa-se a importância do transporte rodoviário no sistema modal brasileiro, apresentando um valor significativo de 61,2 % de participação.

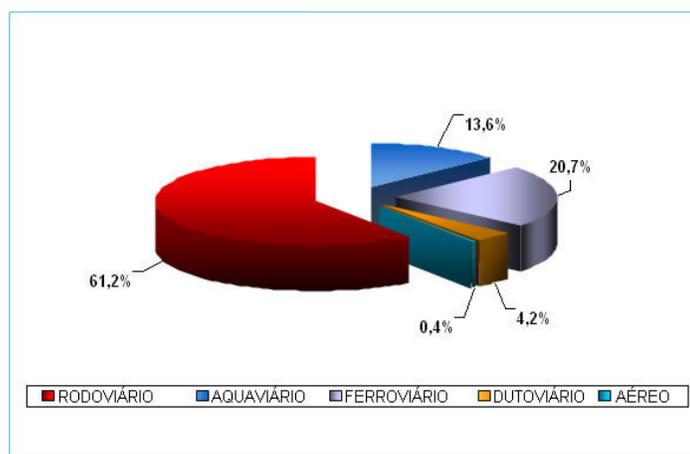


Figura 1: Distribuição do sistema modal brasileiro.

Fonte: CNT, 2006.

Por isso, pode-se afirmar que o sistema rodoviário é o principal transportador de cargas agrícolas e florestais no Brasil. Na maioria das vezes, é a única alternativa para movimentação desses tipos de produtos, devido à escassez de hidrovias e ferrovias que liguem grandes distâncias e, ao mesmo tempo, situem-se perto dos estabelecimentos rurais, com ramais e estações de embarque e descarga (PAULO, 2004).

Portanto, em países de grande extensão territorial e de características regionais distintas, a produção agropecuária e florestal depende enormemente de uma movimentação sustentada por eficientes malhas de vias de circulação de veículos automotivos, as quais devem se apresentar em consonância com as características físicas de cada região do país e dos recursos humanos e financeiros disponíveis. Grandes malhas de rodovias, ferrovias, vias fluviais e rotas aéreas devem interligar o país para promover o desenvolvimento agropecuário e florestal em todo o território nacional, sem a existência de grandes disparidades entre as regiões (POLITANO et al., 1989).

Segundo Politano et al. (1989), ao nível regional, deve-se apresentar fácil a ligação entre capital e o interior, entre capitais, entre expressivos centros urbanos, entre os diferentes pontos de produção e os terminais de ligação e, principalmente, entre a zona rural e a urbana de cada município. Em cada município, os diferentes distritos devem ser interligados por rodovias que promovam um tráfego fácil e rápido.

A escolha brasileira pelo transporte rodoviário trouxe embutidas, diversas conseqüências ambientais. Além do grande efeito poluidor dos gases liberados pelos escapamentos dos automóveis, há o impacto da construção das estradas que implica em retirada e transferência de enormes quantidades de terra, desmatamento, alterações na forma de escoamento das águas, assoreamento de rios, erosões e expansão urbana associada (SPEGLICH, 2004).

2.3 Transporte florestal

Segundo ABRAF (2006), a silvicultura teve início no Brasil no início do século passado, com o estabelecimento dos plantios florestais com espécies exóticas para substituição da madeira das florestas nativas de difícil reposição. As principais espécies exóticas foram os eucaliptos, introduzidos pela Companhia Paulista de Estrada de Ferro em 1904, e as coníferas (Pinus), pela Companhia Melhoramentos de São Paulo em 1922. Em 1990, a área estimada com florestas plantadas no país totalizava cerca de 6 milhões de hectares. Durante a década de 1990, ocorreu uma redução média de 1,5% ao ano, passando para 5,1 milhões de hectares em 2000. A principal razão da redução da área plantada foi a conversão da terra para outros usos, tais como agricultura e pecuária, com o objetivo de obter retorno econômico em curto prazo, apoiado em programas de incentivos do governo federal. Atualmente, a silvicultura ocupa aproximadamente 0,5% do território nacional, com estimados 5,2 milhões de hectares, considerando plantios com pinus e eucalipto.

Segundo Seixas (2001), a principal operação de transporte florestal consiste na movimentação de madeira dos pátios de estocagem na beira do talhão até aos pátios de estocagem nas unidades industriais de consumo. No Brasil, o principal modal utilizado no transporte de madeira no setor florestal é o rodoviário, sendo que o ferroviário e marítimo são utilizados em pequena escala por algumas empresas.

Nichols (1969) afirma que o transporte é visto como um fator estratégico para o desenvolvimento econômico e social de um país e a inexistência de um sistema de transporte adequado entre e dentro das regiões, constitui uma limitação para o seu desenvolvimento.

No setor florestal, o transporte rodoviário é representado na sua quase totalidade por caminhões e sua seleção é baseada em fatores como distância de transporte, a categoria das estradas, o volume de madeira a ser transportada, a capacidade de carga do caminhão e equipamentos auxiliares e das máquinas e equipamentos de carga e descarga (MACHADO, 1984).

O transporte de madeira geralmente é feito com uso de combinações veiculares do tipo “veículos articulados ou ainda veículos conjugados”, o caso dos rodotrens, treminhões, tritrens e bitrens e também com veículos simples do tipo “caminhão”. Com a modernização dos veículos de transporte de carga disponíveis no mercado, o transporte rodoviário florestal foi grandemente beneficiado pela introdução de veículos com maior potência e capacidade de carga, com isso otimizando esta atividade. O transporte de madeiras está atrelado às leis de transporte de cargas vigentes no Brasil, devendo obedecer às normas de carga máxima por eixo e comprimento máximo dos implementos no caso de carretas (ESTRADAS..., 2006a).

Segundo Costa et al. (2003), o custo da operação de transporte florestal depende, entre outros fatores, da distância, da existência de frete de retorno, das condições da rede viária, da construção e manutenção de estradas, das operações de carga e descarga, dos tempos de espera, do volume de carga transportada por composição veicular e do consumo de combustível.

Duarte e Berger (1998) relataram que, dependendo da situação, os custos de transporte rodoviário podem representar algo em torno de 50% do custo final da madeira no pátio das indústrias, tornando-se importante para o setor florestal.

2.4 Estradas não pavimentadas

Dentre os vários tipos de superfície têm-se as seguintes combinações, de acordo com Lopes et al. (2002):

- Estrada pavimentada: é aquela revestida com concreto betuminoso ou concreto, o que permite o tráfego de veículos durante o ano todo.
- Estrada com revestimento primário: é aquela revestida com material granular (saibros, cascalhos, entre outros), o que permite o tráfego de veículos durante o ano todo.

- Estrada sem revestimento: é aquela que não apresenta qualquer tipo de revestimento, portanto, geralmente, pode não ocorrer ou dificulta o tráfego de veículos durante a época chuvosa.

Banque (1988) estima que existam mais de seis milhões de quilômetros de vias não-pavimentadas nos países em desenvolvimento. Rolt (1995) afirma que mais de 80% das vias dos países em desenvolvimento não são pavimentadas.

Na Figura 2, levantamentos realizados pela CNT (2006), mostram que, do total da malha viária nacional brasileira, 87,82% são vias não-pavimentadas e apenas 12,18% são vias pavimentadas, enquanto no Estado de São Paulo 84,14% são vias não-pavimentadas e 15,86% são vias pavimentadas.

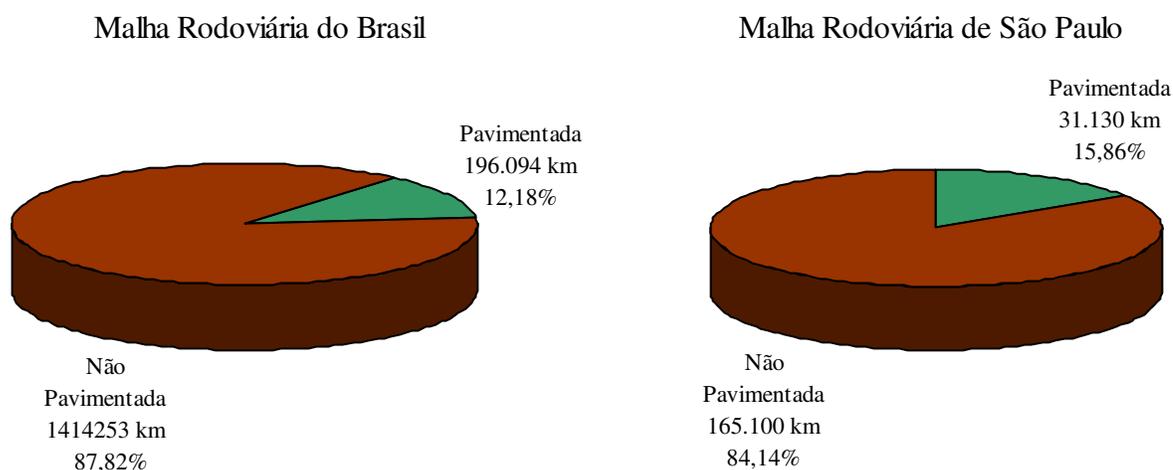


Figura 2: Malha rodoviária do Brasil e do estado de São Paulo.

Fonte: CNT (2006).

Com relação às extensões destas vias, a maioria das estradas pavimentadas está sob jurisdição de governos estaduais, enquanto que as estradas não pavimentadas estão sob jurisdição de governos municipais (CNT, 2006).

É apresentada na Figura 3 as estradas não-pavimentadas que constituem uma parcela significativa do total da malha viária brasileira, conseqüentemente representam um papel importante no item sócio-econômico. Sabe-se que essas vias são o principal meio de

acesso para o escoamento da produção agropecuária e florestal e, em muitos casos, o único acesso direto para escolas, comércios, bancos, atividades de lazer e saúde.

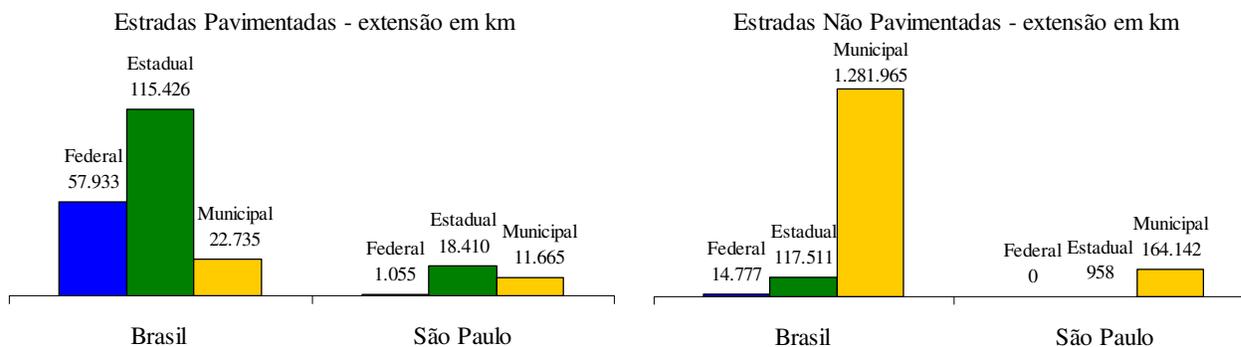


Figura 3: Situação das estradas no Brasil e no Estado de São Paulo.

Fonte: CNT (2006).

Oliveira (2005) afirma que estrada não pavimentada pode ter sido um caminho que se desenvolveu pelo uso de muitos anos, pode ser uma estrada que foi projetada e construída de acordo com um projeto geométrico, seções transversais e um sistema de drenagem; ou estradas de terra que são construídas usando-se o solo natural local na camada final (de rolamento). Estradas com revestimento primário são rodovias revestidas com uma camada de material que tenha uma capacidade de suporte maior do que o solo local natural.

Assim, as estradas podem ser definidas como faixas de terreno com características adequadas para permitir o deslocamento de pessoas e veículos devendo, para que possa cumprir plenamente sua função, encontrar-se em condições favoráveis ao tráfego sob as mais variadas condições climáticas (GRIEBELER et al., 2005).

Segundo Politano et al. (1989), as funções da estrada são o intercâmbio de atividades culturais, sociais e políticas, a coleta e distribuição de produtos, caráter estratégico, união entre localidades, municípios, estados, regiões, países, educação e assistência. Na ligação entre distritos, as estradas vicinais ou não-pavimentadas desempenham papel importante na produção agropecuária e florestal, e devem estar interligadas com as malhas de vias que ligam as propriedades rurais entre si.

Ainda, conforme os mesmos autores, as estradas de pequeno porte geralmente são apresentadas pelas vias locais, na zona rural, e pelas estradas e carreadores

localizados dentro do núcleo de produção agropecuária (propriedade rural e áreas de projetos). Essas estradas são simples, não pavimentadas, estreitas e com rampas que, na medida do possível, exigem uma menor movimentação de terra.

Griebeler et al. (2005) afirmam que um dos principais problemas que afetam a trafegabilidade das estradas não-pavimentadas é a sua degradação devido aos processos erosivos, afetando também áreas marginais e provocando prejuízos aos mais variados setores da economia e da sociedade.

No Estado de São Paulo, conforme Anjos Filho (1998), essas estradas são responsáveis por aproximadamente metade das perdas de solo em virtude da erosão. Em áreas florestais, mais de 90% do sedimento produzido provém das estradas, sendo este devido principalmente à drenagem inadequada (GRACE III et al., 1998).

A manutenção apropriada e contínua é de suma importância para a vida útil de uma estrada e conforme FAO (1989), as principais fases do desenvolvimento de uma estrada são: construção, operação, manutenção e abandono. A construção de estradas resulta em mudanças na paisagem que elas atravessam e podem causar impactos ambientais para os ecossistemas adjacentes devido ao movimento de terra e outras atividades que possam causar distúrbios em toda a microbacia.

2.4.1 Erosão do solo

Segundo Richter (1978), erosão do solo é toda manifestação de desgaste e acúmulo que altera o equilíbrio da paisagem acima de um limite naturalmente admissível. Estas manifestações são efetivadas pela ação da água, do vento e da força da gravidade.

Carolino de Sá (2004) ressalta que a erosão é o transporte de partículas de solo pelo vento, chuvas, água dos rios ou geleiras e, segundo Baver et al. (1972), a erosão do solo envolve o desarranjo das partículas do solo, sua remoção e eventual deposição dos sedimentos longe da posição original. Este processo natural ocorre sobre todas as áreas e é essencial para o desenvolvimento dos solos e paisagens. Por outro lado, conforme os mesmos autores, a erosão se torna um problema quando é acelerada pela atividade humana, freqüentemente resultando numa perda da camada superior do solo. Os principais agentes da erosão do solo são o vento e a água.

Sobre a erosão causada pela água, Smoot e Smith (1999) afirmam que esta apresenta três fases. Na primeira, as partículas são desarranjadas da massa do solo pelas forças exercidas pelos pingos da chuva ou pelas forças da lâmina de enxurrada. Na segunda, as partículas são movidas para locais mais baixos pela água. A terceira fase do processo de erosão ocorre quando a velocidade da enxurrada é reduzida, causando alguma ou toda sedimentação nesse novo depósito.

Carolino de Sá (2004) também afirma que a erosão hídrica ocorre em três etapas: a primeira é a desagregação, que ocorre quando as partículas de solo são desagregadas pelo impacto das gotas de chuva na superfície do solo descoberto. A segunda é o transporte das partículas desagregadas, principalmente pela água que não se infiltra no solo e escorre superficialmente (enxurrada), e a terceira é a deposição das partículas desagregadas nas partes mais baixas da paisagem (vales e leitos dos rios), sendo que essas partículas passam a ser chamadas de sedimentos. Segundo este autor, no Brasil, a erosão causada pela chuva tem causado mais estragos, não só em áreas agrícolas, mas também nas urbanas.

Ainda de acordo com Carolino de Sá (2004), o vento é um agente com menor poder erosivo, pois só pode mover partículas pequenas e próximas do solo. Entretanto, a erosão eólica pode ser importante em épocas secas do ano, em solos planos e arenosos (principalmente se a areia for fina), em áreas sem vegetação (áreas que permanecem gradeadas durante a estação seca, por exemplo) e quando o vento atinge maiores velocidades, sendo as partículas de solo arrastadas na forma de verdadeiras "nuvens de poeira" por até centenas de quilômetros de seu lugar de origem.

Os sinais iniciais de erosão eólica incluem a deposição de partículas de areia à volta das plantas e pequenas "rugos" à superfície das áreas expostas. O extremo final são as clássicas estruturas dunares dos desertos de areia.

2.4.2 Estradas florestais e suas influências no processo erosivo

As estradas florestais são complexas estruturas de engenharia das quais depende o eficiente e seguro transporte e locomoção. Entretanto, a construção de estradas florestais é frequentemente considerada problemática por causa de alto potencial de impacto ambiental (SCHACK-KIRCHNER et al., 2006).

Segundo Garcia et al. (2003), a rede viária é fundamental para a atividade florestal, sobretudo para o transporte de matéria-prima. No entanto, as estradas florestais têm sido uma das principais causas da erosão e do assoreamento dos cursos d'água nas florestas plantadas.

Bertolini et al. (1993) afirma que as águas pluviais constituem a principal causa de erosão nas estradas, revestindo-se de grande importância a captação e o disciplinamento dessas águas, de forma a eliminar seu efeito destruidor, acumulando-as em locais determinados e forçando sua penetração na terra, o que favorece o abastecimento do lençol freático e, conseqüentemente, alimenta fontes e nascentes naturais.

Versfeld (1981) verificou que o aumento do escoamento superficial e da erosão não resulta diretamente das atividades florestais em si, como o corte e o desbaste, mas sim são processos de ocorrência localizada, sendo originados principalmente nas estradas, nos carregadores e em áreas compactadas. Assim, o planejamento adequado destas atividades torna-se necessário para alcançar um controle mais efetivo da erosão.

A estrutura e funcionamento de uma estrada variam de acordo com seu desenho, uso, tipo de superfície e locação. Ainda não existe um consenso com relação à classificação dos diferentes tipos de estradas florestais, porém, Gonçalves (2002), as classifica em três categorias:

- a) estradas primárias (ou principais): sua função é dar acesso às áreas de produção florestal e às estradas externas à propriedade. Geralmente é mais larga e com tráfego mais intenso e pesado;
- b) estradas secundárias (carregadores ou estradas vicinais): são permanentes e normalmente dividem a área florestal em talhões, separam propriedades e conectam os locais de produção florestal e a estrada principal. Podem ainda ser classificadas em estradas secundárias em nível e estradas secundárias pendentes (em desnível).
- c) estradas de acesso: são estradas temporárias, com a função de reduzir a distância entre o local da colheita e a estrada secundária.

Segundo Grace III (2000), as estradas podem também acelerar a erosão devido do aumento dos gradientes de inclinação e a interrupção dos padrões de drenagem natural. Dessa forma, a erosão provocada pela rede de estradas florestais eventualmente alcança e degrada a qualidade dos sistemas hídricos.

Segundo Politano et al. (1989), as estradas não pavimentadas e carreadores geralmente causam aumento da erosão, favorecendo sua manifestação, na forma de sulcos e voçorocas. Dentro do núcleo de produção agropecuária, o sistema de vias constitui-se num dos principais problemas para a conservação do solo, por favorecer o fluxo da água na forma de enxurrada. Essa enxurrada aprofunda as laterais da estrada e, em cada estação de chuva, forma sulcos profundos e voçorocas nos locais com mais declive e não protegidos. Essa forma de erosão, quando não controlada a tempo, chega a destruir todo o corpo da estrada, impedindo o tráfego.

De acordo com Schack-Kirchner et al. (2006), as estradas podem causar impactos negativos sobre os diversos ecossistemas por onde passam. A erosão passa ser maior a partir do momento em que a cobertura vegetal é retirada. A exposição do solo, causada pela abertura das estradas, acelera as perdas pela erosão e pela sedimentação nos rios. Os mesmos autores ainda relatam que as estradas representam uma ameaça à qualidade da água devido à sedimentação de cursos d'água causada pela erosão. O solo descoberto, somado à intensidade e à quantidade da chuva é importante fator na produção de sedimentos em quaisquer rampas e, em geral, estradas aceleram a erosão pelo aumento dos declives e alteração dos padrões normais de drenagem, o que concentra sobre a superfície do solo o fluxo de água em canais.

São na conservação e manutenção das estradas florestais, que se podem esperar boas condições de uso, ou seja, manter as sarjetas limpas, bueiros desentupidos, pista de rolamento estabilizada e pontes em condições de uso, conseguindo assim, condições normais de tráfego dessas estradas florestais (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990).

Após a implantação do sistema, em virtude da movimentação de terra no leito da estrada, “quebra de barrancos”, abertura do canal de admissão e da construção da própria bacia, é comum as primeiras chuvas carregarem sedimentos, ocasionando problemas de infiltração, principalmente em função da argila dispersa que fecham os poros. Em virtude disso, recomenda-se efetuar a manutenção anual, procedendo a remoção de sedimentos da bacia, no período de seca, ocasião em que se pode efetuar também uma escarificação no fundo, visando melhorar a infiltração. Sob o ponto de vista prático, em relação às limitações na hora da implantação do sistema de bacias de captação, alguns pontos merecem especial atenção como o espaçamento excessivo entre bacias, subdimensionamento das bacias, aplicação do sistema em solos impermeáveis, implantação do sistema em declividades

acentuadas, falta de compactação, taludes com inclinação inadequada, falhas no nivelamento, sedimentos, problemas de infiltração, entre outros (BERTOLINI et al., 1993).

O objetivo maior é preservar as características do projeto, assegurando a integridade do investimento, procurando o menor custo possível. A manutenção das estradas demanda limpeza periódica do sistema de drenagem, correções periódicas no pavimento, substituição de placas de sinalização danificadas e roçadas nas margens das estradas (CARVALHO, 2000).

2.4.3 Predição da erosão

Modelos para quantificação dos processos de erosão do solo têm sido desenvolvidos durante as últimas décadas e aplicados com variados graus de sucesso.

Segundo Chaves (1996) o modelo WEPP (*Water Erosion Prediction Project* ou Projeto de Predição da Erosão pela Água), representa a última geração de modelos com base em processos e foi o resultado de um esforço multidisciplinar, envolvendo pesquisadores de várias agências e universidades americanas.

De fato, de acordo Flanagan et al. (2002), o WEPP é um programa de computador de simulação contínua desenvolvido entre 1985 e 1995 pelos Departamentos de Agricultura e Interior dos Estados Unidos e liberado para o público em 1995 para aplicação em áreas agrícolas ou florestais (incluindo estradas florestais), podendo ser de grandes extensões. Assim, segundo estes autores, diferentemente de modelos prévios, como o USLE, por exemplo, que foram estatisticamente restritos para observações num limitado número de locais, sendo imprecisos quando aplicados em locais com diferentes climas e topografia, o WEPP pode ser aplicado em várias situações.

Segundo Machado et al. (2003), os dados de perda de solo preditos pelo modelo foram, em sua maioria, discrepantes dos observados, aproximando-se significativamente apenas no comprimento do segmento de 20 metros e declividade de 7%. No entanto, o modelo comportou-se de forma aceitável na predição de volume de enxurrada, apesar da diferença média de 166,6% em relação aos dados observados. Os resultados das análises permitiram fazer as seguintes conclusões:

- a) na validação do modelo WEPP, os valores preditos de volume de enxurrada foram, em média, 166,58% superiores aos dados observados.
- b) os valores observados de peso do solo na declividade de 1% apresentaram variação superior de 1.125,09% no segmento de estrada com 20 metros de comprimento e 724,41% no segmento com 40 metros de comprimento, em relação aos valores preditos pelo modelo WEPP, ressaltando-se que em menores declividades o modelo comportou-se de forma não-satisfatória, subestimando as perdas.
- c) os valores de peso do solo preditos pelo modelo WEPP na declividade de 7% apresentaram variação superior de 6,73% no segmento de estrada com 20 m de comprimento e 120,25% no segmento com 40 metros de comprimento, em relação aos valores observados.

Diante dessas observações, Machado et al. (2003) afirmaram que o modelo brasileiro de predição de erosão pela água denominada WEPP – Brasil não se encontrava devidamente calibrado para as nossas condições.

Assim, de acordo com Meyer e Mannering (1967), a USLE (*Universal Soil Loss Equation*) é um dos principais e mais completos modelos empíricos utilizados para prever a perda média de solo por enxurrada a longo prazo de áreas sob específicos cultivos e sistemas de manejo. Estes autores resumiram os fatores que levam à erosão do solo em uma equação de perda de solo e, através dela, avaliaram a perda média anual de solo, expressa em toneladas por hectare. Abaixo, os diferentes fatores que compõem a Equação Universal de Perda de Solo são explicados individualmente na Equação 1, segundo Schwertmann (1982):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

onde,

- “A” representa a perda média anual de solo, expressa em toneladas por hectare.
- “R” representa o fator de erosividade da chuva (*Erosivity*) que, além da quantidade precipitada, considera, também, a energia cinética das gotas de chuva que se chocam com o solo. Esta energia por sua vez é influenciada, principalmente, pelo tamanho das gotas e pela intensidade da chuva.
- “K” representa o fator de erodibilidade do solo (*Erodibility*) no qual são refletidas as propriedades específicas do solo. Quanto mais facilmente divisíveis os agregados do solo,

separáveis as partículas e menor a permeabilidade, tanto maior o fator de erodibilidade. Solos ricos em silte, assim como solos arenosos, pobres em matéria orgânica e compactados são especialmente susceptíveis à erosão.

- “LS” representa o fator topográfico (*Length Slope factor*), isto é, a inclinação e o comprimento da encosta são o que determinam o fator greide. Quanto mais íngreme e mais longa a encosta, tanto maior a quantidade e a velocidade da água que escorre.
- “C” é o fator de preparo e cobertura do solo (*Crop management factor*). Quanto pior a proteção da superfície do solo por plantas verdes ou restos vegetais contra a chuva, tanto maior o fator C. A vegetação sobre a superfície amortece a energia de impacto das gotas de chuva e evita assim a destruição dos agregados, o entupimento dos poros e o selamento superficial do solo. O fator considera também o grau de preparo do solo. Preparo intensivo e forte destruição dos agregados do solo levam a uma elevação de C e, portanto, ao aumento de A (perda de solo).
- “P” representa as práticas conservacionistas (*Conservation practices*) e este fator se refere às práticas de controle de erosão, tais como o terraceamento, o preparo do solo em nível e o cultivo em faixas.

Segundo Derpsch et al. (1990), a equação de perda de solo foi desenvolvida especialmente para as condições existentes nos EUA sendo que, neste país, possibilita uma previsão bastante confiável sobre perdas por erosão, pois há um grande número de medições individuais já realizadas, que abrangem um longo período de tempo e que estão disponíveis para esta previsão e para correspondente tratamento estatístico. Entretanto, dificilmente se verificam estas premissas em países em desenvolvimento. Mesmo assim, muitos pesquisadores experimentam, através da instalação de testes de campo, levantar, o mais rapidamente possível, os dados necessários para a montagem da equação da perda de solo em seus países.

2.4.4 Fator topográfico LS

Conforme Antonangelo (2004), no caso específico das estradas de uso florestal brasileiras, diante das dificuldades e da falta de padronização apresentadas pelos métodos disponíveis para a análise de seu potencial de apresentar erosão, principalmente, no

que se refere à obtenção dos dados (variações de equipamentos e períodos de coleta, por exemplo), calibração dos parâmetros (que, por sua vez, têm outros parâmetros implícitos difíceis de serem levantados e analisados) e confiabilidade dos resultados, há a possibilidade de utilização de um único fator da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) para analisar tal processo.

Para Luce e Black (1993), as declividades e os comprimentos de rampas, representados pelo fator topográfico LS, têm forte influência sobre a produção de sedimentos pelas estradas de uso florestal e podem ser obtidos a partir de mapas cartográficos e através de SIGs, fazendo com que critérios baseados nestes dados sejam mais simples e confiáveis, oferecendo maiores possibilidades de aplicação pelos administradores florestais.

De fato, segundo Dadalto et al. (1990), a erosão será maior com o aumento do greide e do comprimento de rampa, fatores que aceleram a velocidade da enxurrada. De acordo com Wischmeier e Smith (1978), o fator topográfico LS permite ajustar a perda de solo para um dado comprimento e greide a partir da parcela padrão e é calculado pela Equação 2:

$$LS = \left(\frac{l}{22,1} \right)^m \times \frac{s}{9} \times \sqrt{\frac{s}{9}} \quad (2)$$

onde:

- LS = fator topográfico;
- l = comprimento da rampa (em metros);
- m = expoente do comprimento da rampa;
- s = greide (%).

O expoente do comprimento da rampa (m) depende do greide e é menor para rampas planas que para rampas íngremes.

Tabela 1: Expoente do comprimento da rampa (m) para diferentes greides.

Greide (%)	Expoente (m)
$\leq 0,5$	0,15
0,6 – 1,0	0,20
1,1 – 3,4	0,30
3,5 – 4,9	0,40
≥ 5	0,50

Fonte: Nill et al. (1996).

Em baixos greides, m é menor por causa da baixa ação da força da lenta enxurrada formada. Desse modo, mais água permanece sobre o campo por mais tempo e a profundidade de infiltração da água no solo aumenta, ou seja, o tempo para infiltração no solo é maior e, no mínimo, parte da superfície do solo é protegida contra o impacto das gotas pela camada de água. Um expoente m menor que 1 mostra que a perda de solo cresce com o aumento do comprimento da rampa.

De acordo com Nill et al. (1996), na USLE, o comprimento da rampa da estrada é definido como a distância de um ponto onde a enxurrada começa até o ponto onde a deposição ocorre ou onde a enxurrada entra num canal bem definido. O final da parte mais baixa da rampa pode ser representado por um pequeno rego ao longo da beirada do campo, um rego na estrada ou um canal de drenagem.

Para Antonangelo (2004), o final da parte mais alta da rampa pode ser formado pelos divisores de águas das microbacias hidrográficas, canais ou zonas de deposição, as quais limitam a parte de cima da rampa e este limite é encontrado se nenhuma enxurrada de segmentos mais altos entra na rampa. O autor constatou em seu estudo que a rampa da estrada com maior perda de sedimentos atingiu o valor de 130 t.ha^{-1} ao ano e conclui que quanto maior o valor do fator topográfico LS, maior a perda de sedimentos.

Enquanto que no estudo realizado por Fenner et al. (2007), as perdas de solo em estradas foram relacionadas com os greides. As estradas com greide inferior a

3,0% apresentaram uma perda de solo de $466,52 \text{ m}^3.\text{km}^{-1}.\text{ano}$, estradas com greide variando de 3,0 a 5,9% perderam $545,58 \text{ m}^3.\text{km}^{-1}.\text{ano}$, estradas com greides entre 6,0 e 8,9% perderam $753,31 \text{ m}^3.\text{km}^{-1}.\text{ano}$, estradas com greides entre 9,0 e 11,9% perderam $807,14 \text{ m}^3.\text{km}^{-1}.\text{ano}$ e estradas com greides acima de 12,0% perderam $1.052,28 \text{ m}^3.\text{km}^{-1}.\text{ano}$.

2.5 Densidade das estradas

A abertura excessiva de estradas e o planejamento inadequado da rede significam um maior impacto no povoamento florestal (HENDRISON, 1989), diminuindo as perspectivas de sustentabilidade do manejo aplicado. No caso contrário, ou seja, uma rede pouco densa em relação ao ideal significa também exagerados danos causados por arraste desnecessário. Esta abertura em excesso também terá efeitos elevados no custo de construção das estradas que dão acesso aos compartimentos de exploração ou, ao contrário, no caso de uma construção menor do que o ideal, elevados custos de arraste, de qualquer modo aumentando os custos totais de extração da madeira. Becker (1994) considera que a construção de estradas é o maior investimento na exploração florestal. Por isso, o planejamento da rede deve ser feito por pessoal qualificado e com base nas necessidades específicas de cada empresa florestal.

Segundo Braz et al. (1998), é importante ter uma idéia do ponto ótimo entre o que deve ser construído de estradas e as distâncias de arraste, de acordo com as condições de terreno e estrutura da floresta. O planejamento adequado da rede de estradas secundárias deve ser considerado como um item importante do manejo dos impactos negativos do meio físico, como a erosão, assoreamento dos rios, alagamento, rompimento dos sistemas de drenagem e retenção do fluxo de águas superficiais.

As florestas com potencial de manejo possuem diferentes tipologias, volumes comerciais e potencialmente aproveitáveis por hectare, topografia e solos variados. Isto implicará sempre em diferentes densidades ideais de construção de estradas florestais para manejo, tornando necessária a utilização de metodologia que defina quando optar pelo menor custo e quando o menor dano ao povoamento e a densidade contribuirá para a melhor combinação destes fatores (BRAZ et al., 1998).

Para Gonçalves (2002), a má locação da rede viária pode ocasionar problemas graves relacionados à captação, à condução e ao deságüe concentrado da enxurrada em determinados pontos do terreno, fatores esses que contribuem com o processo erosivo podendo influenciar na queda da produtividade, no assoreamento de cursos d'água e na perda de valores estéticos e paisagísticos. Para Tuchy (1982), o controle da densidade da rede viária e o tamanho da faixa terraplenada da estrada florestal são fundamentais para reduzir esses impactos ambientais negativos no meio físico, principalmente a erosão.

2.6 Construção das estradas

Grace III (2000) afirma que a melhor prática de mitigação da erosão pode ser alcançada através de um planejamento cuidadoso, da locação, do desenho, da construção e da manutenção de estradas.

Enquanto que Dietz (1983) afirma que um planejamento florestal cuidadoso analisa tanto os aspectos econômicos quanto os aspectos ecológicos, para evitar e/ou mitigar os efeitos negativos da rede viária florestal.

Portanto, o planejamento para construção das estradas florestais deve visar o menor movimento de terra e impacto no solo e, por conseguinte, menor dano, padrões de segurança e baixo custo. As estradas normalmente devem seguir os divisores de água com solo com capacidade suporte ideal (BRAZ, 1997).

As estradas de terra (rurais e florestais), não pavimentadas, devem apresentar duas características técnicas essenciais: boa capacidade de suporte e boas condições de rolamento e aderência. As estradas rurais consideradas adequadas são aquelas que possuem um desenho adequado da plataforma (composta pela pista de rolamento, pela faixa lateral/acostamento e pela sarjeta), infra-estrutura de drenagem corrente (bueiros) e superficial, e revestimento primário em toda extensão com material de qualidade e com espessura para suportar o tráfego existente (SANTOS et al., 1985; BAESSO; GONÇALVES, 2003).

Quando as estradas possuem as características técnicas acima descritas, a atividade de manutenção pode limitar a reconformação (nivelamento) da pista de rolamento, utilizando a motoniveladora, além de serviços básicos, como limpeza das obras de

arte e drenagem superficial, roçada das faixas laterais e reposição, se necessário, do revestimento primário (BAESSO; GONÇALVES, 2003).

Na Figura 4 observa-se a seqüência correta de operações realizadas na construção de estrada florestal.

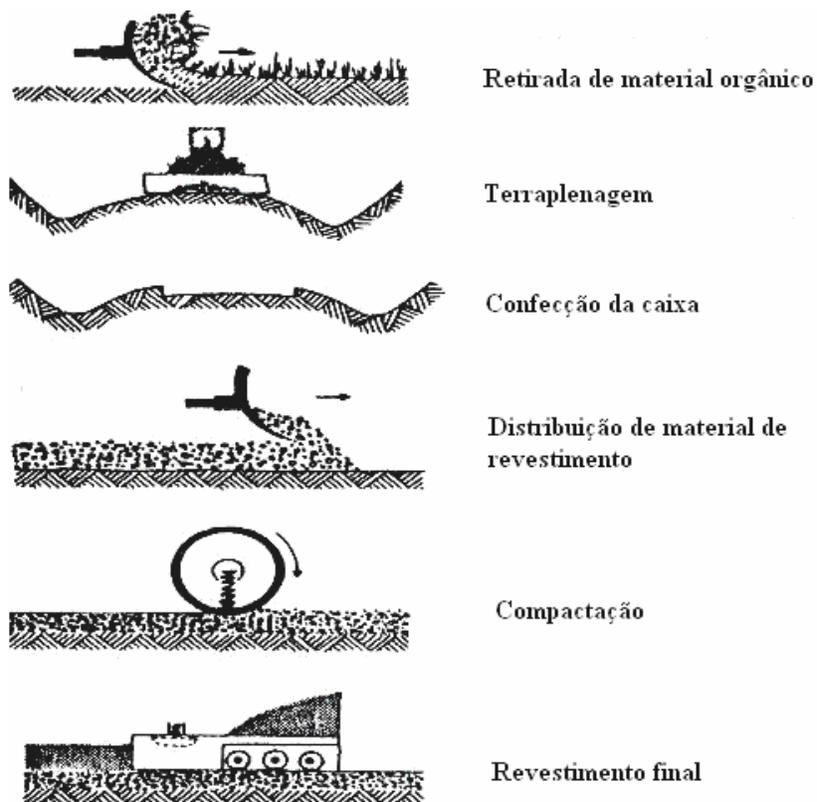


Figura 4: Representação esquemática da seqüência de operações para construir uma estrada florestal.

Fonte: Nascimento (2005).

As etapas de construção de uma estrada, de acordo com Malinovski e Perdoncini (1990), devem ser seguidas, seqüencialmente, nunca deixando passos importantes para trás. Após a abertura de uma estrada, a mesma deve ser seguida pelo esquema de drenagem, senão, em pouco tempo, a estrada estará impraticável. Quando se faz a compactação da base estrada através de máquinas, o uso da estrada pode ser quase que imediato, o que não ocorre em transporte pesado para estradas recentemente construídas e sem compactação.

2.6.1 Topografia

A topografia da região delimita o tipo de máquina para extração florestal, o qual por sua vez necessita de um tipo adequado de rede viária florestal. Em terrenos planos recomenda-se uma distância entre estradas regulares, de forma quadrada ou retangular, sendo que a forma retangular tem-se comprovado mais adequada. No entanto, deve-se tomar cuidado com depressões úmidas e pantanosas (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990).

Segundo Dietz et al. (1983), a topografia determina a viabilidade técnica do delineamento de estradas e trilhas de arraste na floresta, bem como o esforço necessário à construção de vias e a escolha do método de extração de madeira até a estrada.

Na Tabela 2 são apresentadas as classes de greide em relação aos tipos de relevo da microbacia.

Tabela 2: Classes de greide e tipos de relevo da microbacia.

Greide (%)	Tipo de Relevo
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Forte ondulado
45 – 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

Fonte: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (1999 apud RODRIGUES e STARZYNSKI, 2004).

Tendo em vista que a topografia está diretamente ligada à rede de drenagem natural, pode-se dizer que os custos de construção e manutenção da rede rodoviária florestal estão diretamente relacionados à topografia, aumentando quando se aumenta a inclinação do terreno (MACHADO; MALINOVSKI, 1986).

2.6.2 Base da estrada

Segundo Malinovski e Perdoncini (1990), dependendo do tipo de material existente no futuro leito da estrada, deve-se proceder a sua retirada em maior ou menor escala. A base da estrada está diretamente ligada com a qualidade que espera da mesma. Quanto melhor for a qualidade, melhor deve ser a base da estrada. A base é o futuro corpo de sustentação da camada de revestimento, que sustentará diretamente o transporte.

Conforme os mesmos autores, deve-se lembrar que em terrenos de relevo plana, a futura estrada deve ser abaulada para ambos os lados e, em relevo ondulado, deve ser inclinada com o talude de corte; permitindo um escoamento rápido da água sobre o seu leito. De maneira geral, só com a terraplenagem a estrada não satisfaz as respectivas exigências, principalmente no que se refere à capacidade de sustentação, transitabilidade e conservação, portanto, a construção da base deve ser completada com o revestimento da pista de rolamento. Assim, o objetivo da estabilização do solo é prepará-lo e torná-lo estável e durável e isto pode ser obtido através da composição dimensional granular do solo; aumento da coesão, adicionando produtos aglutinantes e alteração das propriedades de plasticidade. O recurso à estabilização de solos através da inclusão de materiais como o cimento ou a cal permite atingir os objetivos propostos e, para além de constituir um método relativamente pouco dispendioso e de fácil aplicação, pode ser aplicado em praticamente todos os tipos de solo.

De acordo com Dietz (1983), é função da terraplenagem preparar as bases do terreno segundo um plano e se, eventualmente necessário, construir o fundamento, conforme ilustra a Figura 5

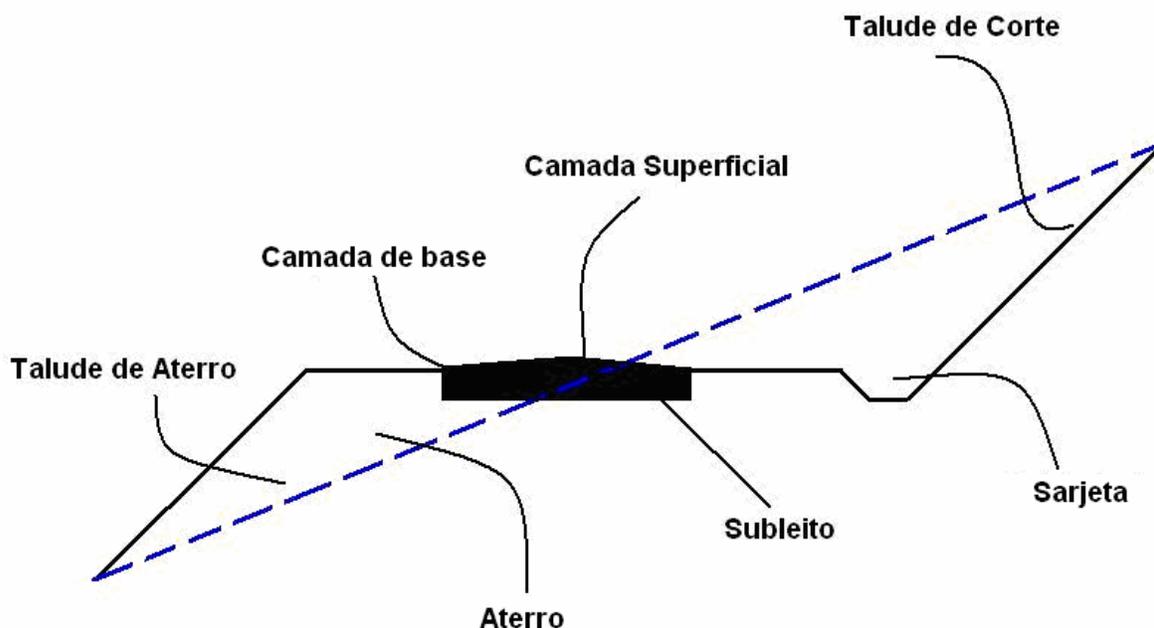


Figura 5: Plataforma de uma estrada florestal e seus componentes.

Alguns parâmetros da Figura 5 são definidos por Dietz (1983), e relacionados a seguir:

- a) subleito: é o solo existente naturalmente;
- b) aterro: é o futuro corpo da estrada, constituído artificialmente;
- c) camada de base: é a superfície do subleito e do aterro preparado, tecnicamente baseado em referências geométricas, determinadas pelo padrão da estrada florestal.

2.6.3 Limpeza

Em regiões planas na realização da retirada da camada, ou seja, do material orgânico do futuro leito da estrada, procura-se desde o início garantir a drenagem da mesma. Já, no caso de regiões montanhosas, necessita ser levados em consideração a inclinação natural do terreno e procurar a melhor disposição da linha mestra em relação ao perfil transversal da estrada, procurando-se economizar nos cortes e aterros, assim como na obtenção de uma base de boa sustentação (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990).

Segundo Machado e Malinovski (1986), a faixa de domínio de uma estrada florestal geralmente é a própria seção transversal. A limpeza de árvores, tocos e outras

vegetações devem ocorrer nesta faixa. Nas regiões tropicais, é prática deixar uma faixa de domínio igual a seção transversal da estrada, acrescida de 10 a 15 metros de cada lado. Esta medida procura amenizar o problema de secagem da plataforma da estrada, em virtude do regime pluviométrico da região.

2.6.4 Terraplenagem

Terraplenagem significa o conjunto de escavações, transporte e remoção de terra necessária para se construir em um terreno (BUENO, 1996).

A terraplenagem envolve serviços de corte e aterro que conformam o perfil e a seção transversal da via, de modo a proporcionar condições de tráfego compatíveis com o volume e tipo de veículos que irão utilizar a rodovia (PEREIRA; COSTA, 1983).

Os requisitos de terraplenagem devem estar relacionados com os custos de operação, considerando tipos e volumes de veículos. Nessa fase, dispõe-se do projeto geométrico da melhoria da via, contendo as dimensões desejadas através da planta, perfil longitudinal e seções transversais (LEITE, 2002).

Além do volume de tráfego, segundo o autor citado, a travessia da rede hidroviária condiciona a altura dos aterros que são construídos de modo a permitir a execução de obras viárias, em cotas compatíveis, que as tornem protegidas das enchentes. Carvalho (1990) implantou em estradas secundárias travessias do tipo “passagens molhadas” em que nas enchentes a água passa sobre as obras viárias.

Pereira e Costa (1983) apresentam as máquinas utilizadas na terraplenagem que são classificados em unidades: tratores, escavo-empurradores, escavo-transportadoras, aplainadoras, transportadoras, compactadoras e máquinas diversas. Um ponto que deve ser lembrado também é que o projeto de terraplenagem deve ser elaborado conhecendo-se as particularidades locais. Na fase do projeto define-se toda a origem e destino dos materiais envolvidos na terraplenagem, considerando-se os volumes, classificação e as distâncias médias de transporte.

Para a seleção das máquinas de terraplenagem são observados os fatores: naturais, de projeto e econômicos. Como fatores naturais são considerados: natureza

do solo (granulometria, resistência ao rolamento, capacidade de suporte à ação das cargas, umidade natural), topografia e regime de chuvas (LEITE, 2002).

Em função da topografia são apresentadas recomendações em relação à rampa máxima onde cada máquina de terraplenagem é utilizada: *Scraper* rebocado, usado em rampas de até 40%; *motoscraper* com tração nas quatro rodas ou empurrados, para rampas de até 30%; *motoscraper* convencionais com rebocador de um eixo, para rampas de até 15%; *motoscraper* convencionais com rebocador de dois eixos, para rampas de até 10%; caminhões e vagões, para rampas de até 15% e caminhões fora-de-estrada, para rampas até 25%. Já como fatores de projetos são considerados os volumes a ser movido e a distância de transporte (LEITE, 2002).

Segundo Souza e Catalani (1978 apud LEITE, 2002), as máquinas de esteira são recomendadas para distâncias menores que 50 metros; o *scraper* rebocado para distâncias entre 50 e 200 metros; *motoscraper* de tamanho pequeno a médio, com rebocadores de um eixo entre 100 a 400 metros; já os *motoscrapers* com rebocadores de dois eixos de 300 a 750 metros e, caminhões acima de 900 metros. Os custos das máquinas são calculados por hora de utilização, muito embora os pagamentos tenham a tendência de serem feitos pela quantidade de serviço realizado.

2.6.5 Abaulamento da base da estrada

O abaulamento tem a função de retirar a água no sentido transversal da estrada, não deixando que a mesma escorra superficialmente sobre a estrada e assim haja o aparecimento de sulcos longitudinais no leito e que, com o decorrer do tempo será o canal natural de água e haverá o aprofundamento desse sulco, transformando-o em erosão e, posteriormente, a interdição da estrada. É recomendado, para estradas florestais, que o abaulamento tenha um percentual acima do usual, pois as estradas são utilizadas intensamente durante as épocas de colheita e, posteriormente, quase que abandonadas. Para estradas florestais, recomenda-se um abaulamento entre 3% e 6% dependendo do relevo do terreno, pois o objetivo é promover a adequada drenagem da plataforma, encaminhando as águas superficiais para os dispositivos destinados a recebê-las, evitando assim, o acúmulo de água sobre a pista. Em locais onde a topografia é acidentada ocorre a necessidade de se ter estradas

de encosta e de ligação entre as mesmas, neste caso deve-se proceder o corte contra o talude tendo uma inclinação variável entre 2 a 4 %. Deste modo, não haverá abaulamento da estrada, mas sim a retirada total da água para o lado do talude de corte (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990; DEMARCHI et al., 2003).

Segundo Santos et al. (1985) as aberturas surgem pela contínua expulsão de partículas sólidas do leito quando da passagem de veículos em locais onde há empoçamento de água, ou seja, o aparecimento de fendas é uma consequência de uma plataforma mal drenada (sem abaulamento).

Conforme Machado e Malinovski (1986), o subleito é a primeira etapa do corpo transversal de uma estrada estabilizada. Quando não é o caso, o subleito acaba sendo a própria superfície da estrada (casos onde não há preparação adicional da camada base-revestimento).

Outro aspecto importante que vale ser ressaltado é que a compactação do solo está diretamente relacionada com o material da base encontrada. É necessário se ter umidade ideal para cada composição do solo quando se faz a compactação, com a escolha adequada das máquinas. Para solos de granulares deve-se utilizar máquina com o implemento rolo-compressor vibratório e, para solos de granulometria fina, utilizam-se máquina com o implemento rolo-compressor “pé-de-carneiro” ou rolo-compressor pneumático, eventualmente junto com medidas adicionais de estabilização do solo (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990).

Segundo os mesmos autores, é necessário que haja material com capacidade de aglutinação para se conseguir uma compactação duradoura da base da estrada florestal.

2.6.6 Revestimento

Segundo Machado e Malinovski (1986), geralmente, quando se constrói uma camada de base-revestimento em uma estrada florestal, se referem a uma camada de solo superficial estabilizada.

A qualidade do material de revestimento é fundamental para a obtenção de um bom leito. O revestimento, quando adequado, reduz a manutenção da mesma.

Ele deve garantir também o tráfego de veículos pesados com qualquer tempo, independente de precipitações pluviométricas (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990).

Melo (1981 apud LEITE, 2002), considera que para volumes reduzidos de tráfego seja possível a pavimentação de somente uma faixa de tráfego, reduzindo-se tanto os custos de construção como os de manutenção. Essa referência é em relação a países onde as condições econômicas são melhores que as do Brasil, que utilizam a pavimentação em alguns trechos, de somente uma faixa de tráfego, como Austrália, França, México, EUA, Portugal e Alemanha.

Segundo Oda (1998), o revestimento primário constitui-se em uma camada colocada sobre o subleito, obtida pela compactação de uma mistura de material fino (argila) com granular. A espessura dessa camada deve levar em conta o volume e tipo de tráfego do local e as condições de suporte do subleito variando, geralmente, entre 10 e 20 cm. Na mistura, o objetivo da adição de argila ao material granular é o de atuar como ligante e regularizar a superfície final de rolamento, enquanto que o objetivo do uso do material granular é aumentar o atrito da pista com os pneus dos veículos. Para a mistura ficar homogênea são necessárias as seguintes etapas: secagem e destorroamento da argila; cálculo das proporções em volume (geralmente 1 de argila : 2,5 de areia) e, mistura com grade de disco, motoniveladora, pá carregadeira ou pulvimisturador.

2.6.7 Sistema de drenagem

De acordo com Oda (1998), o sistema de drenagem é um dos principais fatores para evitar a formação de defeitos em estradas não-pavimentadas em épocas de chuvas. A drenagem pode ser superficial ou subterrânea. A drenagem superficial consiste na coleta e remoção das águas superficiais que atingem ou possam atingir a estrada. A drenagem subterrânea intercepta as águas no subsolo do leito da estrada. Para evitar que as águas superficiais que descem a encosta escoem sobre o talude são construídas sarjetas ao longo da crista do talude do corte. Para evitar a infiltração ou acúmulo da água que escoam sobre a pista de rolamento, deve-se adotar greide transversal adequado, que facilite o escoamento para as sarjetas laterais e evite a formação de poças d'água.

Uma rede de drenagem de estrada, quando mal dimensionada, é um fator limitante das operações de transporte, principalmente, nas épocas chuvosas. É comum ver a chuva intensa destruir os aterros de uma estrada, devido ao mal dimensionamento da rede de drenagem. O planejamento da rede de drenagem requer, dentre os inúmeros fatores, que se determine o volume máximo de água que deverá passar pela seção de um bueiro (MACHADO; CASTRO, 1985).

A drenagem garante o desvio, de distância em distância, das águas que caem na plataforma da estrada florestal, assim, evitando seu acúmulo e, em consequência, evita a erosão da sarjeta, principalmente nas rampas fortes e extensas, onde o terreno é pouco consistente. De acordo com estudos norte-americanos, os drenos devem ser colocados num espaçamento de 50 a 100 metros de distância (MACHADO; CASTRO, 1985).

De acordo com Malinovski e Perdoncini (1990), deve-se proceder periodicamente a inspeção no sistema de drenagem para corrigir defeitos quando ainda são pequenos. Desta forma, algumas observações devem ser levadas em consideração, tais como: desobstrução de sarjetas e saídas d'água após passagem de motoniveladora; observação das caixas de inspeção (entrada de bueiros); limpeza das rampas, através de roçadas, entre outros.

A seção transversal inadequada é o resultado de uma superfície sem greide transversal para direcionar a água para as sarjetas. Esta condição é evidenciada pela água escoando ao longo da superfície de rolamento e conseqüentemente pela erosão causada pela intensidade da chuva. As condições da seção transversal são avaliadas pela facilidade de escoamento da água da superfície da estrada para um local que não influencie as condições de rolamento, isto é, para fora dela (ODA, 1998).

As sarjetas laterais têm a função de conduzir a água e direcioná-la para saídas d'água e bueiros. É importante que o fundo das sarjetas esteja em um nível abaixo das estradas, em torno de 20 a 30 centímetros abaixo da base. Fato considerado negativo, principalmente, em solos argilosos que tem da característica de plasticidade, ou seja, se houver infiltrações de água na base, poder-se-á perder todo o trabalho de compactação e a camada de revestimento poderá ser incorporada pela argila, desaparecendo quando esta estrada for submetida ao transporte pesado. Em função do tipo de solo e relevo, deve-se proceder a variações do tipo e forma de sarjeta a ser construída. Já para locais onde o solo é argiloso ou

de topografia acidentada, recomenda-se sarjetas do tipo em “V” (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990; DIETZ et al., 1983).

Conforme Oda (1998), a drenagem lateral inadequada é verificada pelas sarjetas cobertas de vegetação ou cheias de entulhos e que não estão em condições próprias para direcionar e transportar a água, provocando o seu empoçamento e o desenvolvimento de atoleiros.

A água deve ser direcionada antes que atinja velocidades consideradas perigosas, capaz de iniciar um processo de erosão. A forma mais simples de se conduzir a água é através das laterais, as quais são espaçadas por pontos, efetuadas com a própria motoniveladora (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990).

As “sangras” ou saídas d’água servem para direcionar a água para fora da estrada, conduzindo-a para as bacias de acumulação. As sarjetas podem ser revestidas com grama, para diminuir a velocidade da água e evitar assim problemas de erosão (ODA, 1998).

Machado e Silva (2001) sugerem o espaçamento entre bueiros, os seguintes valores na Tabela 3.

Tabela 3: Relação da distância entre bueiros e o greide da estrada.

Greide da estrada (%)	Distância entre bueiros (m)
2	90
4	60
5	50
10	40
20	36

Fonte: Machado e Silva (2001).

De acordo com Bertolini et al. (1993), as estradas funcionam como verdadeiros canais escoadouros e que ao se implantar o sistema de bacias de captação e retenção, normalmente mobilizam-se as laterais e o próprio leito da estrada, desagregando o solo, é evidente que tais operações devam ser efetuadas em épocas adequadas para evitar o carreamento de sedimentos e promover a estabilização com práticas complementares como a

revegetação dos canais e taludes. Por isso se recomenda que o sistema seja implantado logo após o término do período das águas. A Tabela 4 apresenta o espaçamento entre caixas de contenção.

Tabela 4: Limite máximo de espaçamento entre caixas d'água e greide da estrada.

Greide da estrada (%)	Distância máxima entre caixas de contenção (m)
5 – 10	50
10 – 15	30
> 15	20

Fonte: Machado e Silva (2001).

2.6.8 Camalhão na pista de rolamento da estrada

A superfície da pista de rolamento de uma estrada florestal pode ser um importante fator de controle de erosão. Isto é possível quando nas medidas mitigadoras de erosão forem considerados o abaulamento da pista de rolamento, os locais de cruzamento de estradas e águas, o tipo de material utilizado na construção da superfície da pista de rolamento e quebras de greide (MACHADO; SILVA, 2001).

Camalhões são pequenas elevações, construídas transversalmente à estrada, com a finalidade de auxiliar na condução da água oriunda das chuvas. É uma forma barata de reduzir a velocidade da água, porém com alguns inconvenientes, pois há a necessidade de diminuição da velocidade dos veículos de transporte e a necessidade de se fazer constantes manutenções a fim de manter a sua função. Existem duas formas de camalhão:

- a) a primeira transversal, onde deve existir saída lateral d'água nos dois lados e anteriores ao camalhão;
- b) a segunda forma é o camalhão transversal, porém com uma certa angulação, via de regra 30°, no sentido da pendente e neste caso, com saída lateral d'água. Este segundo caso é utilizado para se desviar a água de um para outro lado da estrada (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990).

Em estradas com rampas acentuadas, deve-se colocar camalhões para reduzir a velocidade da água e direcioná-la para as sarjetas, que devem estar limpas para evitar o acúmulo de água e para escoá-la para as sangras (ODA, 1998).

Conforme Machado e Silva (2001), os camalhões tornam-se fundamentais, pois equilibram a descarga de água proveniente de precipitação excessiva, evitando-se assim prejuízos provenientes do impacto da erosão. Nas estradas se adota o uso de camalhões que projetam os desvios e ordenamentos de controle de enxurradas de maneira que sua manutenção seja mínima.

A água das sarjetas é retirada para dentro dos talhões por meio de “sangras” para a caixa de contenção. Para isso as sarjetas laterais são interrompidas para que a água seja retirada pelas sangras de ambos os lados da estrada alternadamente. Nestes carregadores, a retirada de água da plataforma deve ser forçada por camalhões transversais ao eixo do carreador, podendo ser perpendiculares a ele conforme apresentado na Figura 6 (DURATEX, 1988).

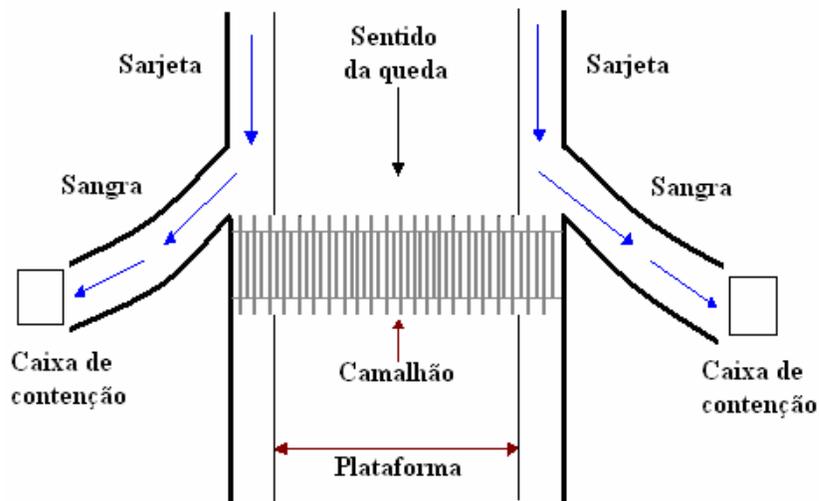


Figura 6: Estrada com camalhão transversal.

Fonte: DURATEX, 1988.

Os camalhões podem ser também inclinados com relação ao eixo principal da estrada facilitando ainda mais a saída da água (FIGURA 7). Entretanto o camalhão com angulação não é recomendado, pois pode danificar o meio de transporte, que

tende a movimentar desordenadamente os chassis, podendo ocasionar futuras avarias mecânicas (DURATEX, 1988).

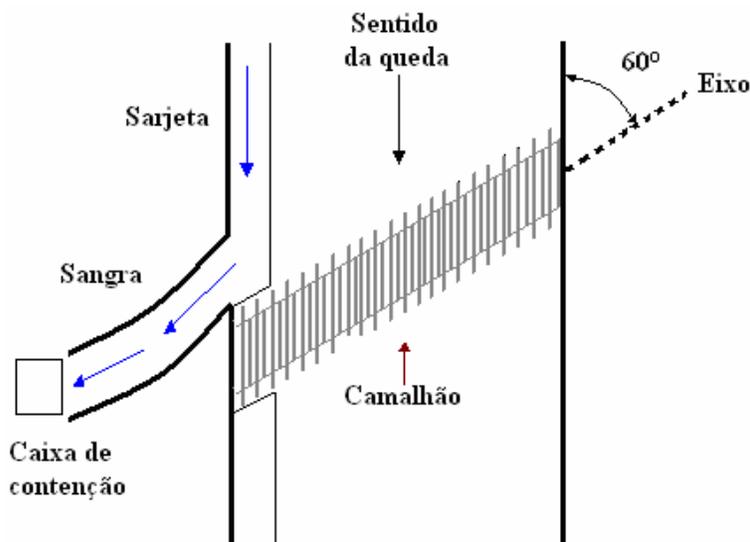


Figura 7: Estrada com camalhão inclinado.

Fonte: DURATEX, 1988.

Na Tabela 5 é apresentada a relação entre o greide e as distâncias recomendadas para os camalhões.

Tabela 5: Distância entre camalhões em função do greide.

Greide (%)	Distância entre camalhões (m)
0 a 2	90
2 a 4	70
4 a 6	60
6 a 8	50
8 a 10	40
Acima de 10	30

Fonte: Machado e Silva (2001).

Portanto, os camalhões são construídos com o objetivo de impedir o escoamento superficial da água das chuvas, diminuindo assim a erosão, podendo ser considerado como uma das principais medidas mitigadoras de erosão na pista de rolamento.

2.7 Manutenção das estradas

Segundo Garcia e Piedade (1987), construir uma estrada dentro dos padrões requeridos é uma medida conservacionista, por isso a adequada conservação das vias é importante para a redução dos custos totais de transporte. No entanto, certos cuidados podem ser tomados, visando custos posteriores de manutenção. O principal agente erosivo é a água, sendo que os maiores cuidados são tomados visando minimizar a sua ação.

- a) Taludes: é recomendável seu revestimento com gramíneas ou impermeabilizante.
- b) Superfície de rolamento: greide transversal adequado e manutenção da camada de revestimento.
- c) Sarjetas: dependendo do declive, revesti-las com alvenaria, concreto ou pedras. Das sarjetas são tiradas derivações que aumentam a capacidade de vazão (sarjetas secundárias).
- d) Corpo da estrada: cuidados especiais devem ser tomados em aterros sobre cursos d'água intermitentes, isto é, que drenam água quando chove.
- e) Obras de arte: a parte da estrada que entra em contato com a obra deve receber um tratamento especial. Nos bueiros, para evitar que a água se infiltre entre os tubos de concreto e o aterro, faz-se um revestimento em volta do tubo (externamente), com troncos, pedras, alvenaria ou concreto. Nas pontes, no contato da ponte com o corpo da estrada, faz-se também uma proteção que faz parte da própria estrutura da ponte.

Segundo Oda (1995), em estradas com solo arenoso, os defeitos mais comuns são a corrugação, os areiões, as fendas em trechos planos e os problemas de erosão em trechos com rampas acentuadas. Nas estradas com solo argiloso, os defeitos mais frequentes em épocas de chuvas são os atoleiros em trechos planos e os problemas de pista escorregadia. Em épocas de seca, os principais defeitos são a poeira e a segregação de agregados.

A manutenção de estradas florestais está relacionada com a qualidade de construção e o grau de utilização. De acordo com Malinovski e Perdoncini (1990), normalmente, são feitas manutenções periódicas somente nas estradas consideradas de acesso

e principais, deixando de lado a manutenção preventiva na rede viária secundária. Isto está relacionado com a sazonalidade das intervenções na floresta, pois logo após o plantio somente por ocasião de explorações ou colheitas de madeira é que se faz necessário o tráfego de veículos de transporte. O tipo de manutenção varia muito, depende da qualidade da estrada, da classe de solo, dos investimentos em sua construção, da forma do traçado geométrico, das precipitações e da intensidade de tráfego.

Por outro lado, os mesmos autores afirmam que medidas devem ser tomadas para se evitar danos como fechamento para trânsito público e limitar a velocidade. Já como medida de conservação, a inclinação da pista no sentido longitudinal e transversal deve ser mantida, isto é, refazê-las após a mínima danificação. O importante é manter o perfil da estrada perfeitamente abaulado. Existe uma estreita relação entre custos de construção e manutenção de estradas florestais, quanto melhor for a qualidade da estrada, menores serão seus custos de manutenção e vice-versa, comentam os mesmos autores.

Os cortes e aterros, principalmente de regiões arenosas, de acordo com os autores citados, devem ser rapidamente revegetados e a manutenção dos mesmos deve ser através de roçadas e nunca pela morte dos vegetais. Já para o caso de estradas sem revestimento, algumas empresas utilizam o sistema de cancelas para evitar o transporte em dias de precipitações intensas, pois o tráfego em épocas chuvosas em estradas sem revestimento danifica drasticamente a mesma.

Para estradas encaixadas fazer dissipadores de energia ao longo dos taludes laterais com pedras e estacas, ou sacos de aniagem preenchidos com solo-cimento (10:1 a 20:1). Nos trechos encaixados, se possível, abater os taludes laterais. Em terrenos arenosos a água pode ser lançada em caixas de infiltração ou acumulação (em superfície natural, em plataformas encaixadas, se couberem, ou encravadas nos taludes de corte laterais da estrada), limpar estas caixas após os períodos de chuvas para reduzir o assoreamento e películas de argila. O plantio de bambu, grama ou capim pode proteger os pontos mais vulneráveis, como as saídas de sangras (LEITE, 2002).

Para a conservação é importante dispor de maquinário apropriado. Recomenda-se ter, no mínimo, caminhões basculantes, caminhão pipa, pá carregadora, motoniveladora, rolos compressores (liso, para material granular e “pé-de-carneiro” vibratório), trator agrícola e grade (LEITE, 2002).

2.7.1 Redes de drenagem

Na conservação de qualquer estrada, independente da sua qualidade, é fundamental que, além da conservação da pista de rolamento, também se faça a manutenção da rede de drenagem, uma vez que as estradas florestais têm a particularidade de, na maioria das vezes, terem uso sazonal, serem esquecidas por grande parte do tempo e somente lembradas por ocasião da colheita e muitas vezes tornando necessário quase que a reconstrução completa das mesmas, perdendo grande parte do investimento realizado. Faz-se necessário pelo menos manter um sistema de drenagem eficiente e um abaulamento compatível. Outro ponto a considerar são as intersecções ou entroncamentos entre as estradas principais e secundárias. Quando se sabe que não se usará a estrada secundária por um determinado período, é comum fazer pequenas sarjetas ou camalhões transversais à estrada a fim de se reduzir os riscos de erosão, evitando assim também o carreamento de material das estradas secundárias para as principais, o que normalmente forma um ponto negativo nas estradas principais (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990).

A manutenção da rede de drenagem também se refere à limpeza das sarjetas e tubos de escoamento. Instalações de drenagem perdem a sua função quando interrompidas com madeira, folhas e terra, o que pode, rapidamente, causar grandes danos à estrada, até a completa destruição. Para evitar danos se recomenda o fechamento ao trânsito público e o controle do limite de velocidade dos veículos. Outro ponto que merece cuidado é quanto à inclinação da pista nos sentidos longitudinal e transversal (abaulamento), que devem ser mantidos, isto é, refazê-los após a mínima danificação (DIETZ et al. 1983).

Bueiros ou passagens molhadas podem ser implantados para que a água saia para o outro lado da pista, diminuindo as possibilidades de erosão. Nos bueiros, se possível, usar diâmetro de, no mínimo, 40 cm; que podem ser feitos com tubos ou pedras de mão rejuntadas. O topo dos bueiros deve estar a uma profundidade, no mínimo, igual a uma vez e meia seu diâmetro. O greide deve ser de 1% e sempre assentar em berços. Nos locais erodíveis, a caixa de bueiro deve ter, no mínimo, 0,5m x 0,5m x 1,1m, podendo ser de concreto ou pedra rejuntada. Em solo erodível também protege as saídas das "sangras", o que pode ser feito com pedras ou estacas de madeira (LEITE, 2002).

Segundo o IPT (1988 apud LEITE, 2002), na conservação, sobretudo, com o uso de motoniveladora, lembrar que o leito das estradas de terra deve-se manter o máximo possível próximo à superfície do terreno. Além dos solos superficiais terem mais resistência a erosão e serem compactados mais facilmente, a implantação de saídas laterais de drenagem apresenta custos menores.

Ainda segundo o IPT (1988 apud LEITE, 2002), em regiões cultivadas, as sangras devem jogar as águas em terraceamentos em curvas de nível. O espaçamento médio entre sangras inicialmente pode ser 20 metros em trechos inclinados e a cada 40 metros em trechos planos. É importante observar o desempenho para, com a experiência, efetuar melhores projetos. Os camalhões podem ser necessários para forçar a saída d'água pela sangra.

Em terrenos arenosos, de acordo com os mesmos autores, se observa a necessidade de se efetuar manutenções preventivas em vez de manutenções corretivas. Onde existe a utilização de camalhões em série, os mesmos devem sofrer manutenções preventivas, para que não ocorra a deterioração pelo transporte do mesmo, o que acarretaria a intransitabilidade da estrada. Outro aspecto importante que deve ser sempre vigiado são as sarjetas, as saídas d'água e os bueiros, para evitar problemas de erosionamento. Em terrenos argilosos, os cuidados com infiltrações d'água devem ser redobrados, a fim de manter estabilizada a base da estrada.

2.7.2 Superfície da pista de rolamento

As estradas de terra, não pavimentadas, devem apresentar duas características técnicas essenciais: boa capacidade de suporte e boas condições de rolamento e aderência (SANTOS et al., 1985; BAESSO; GONÇALVES, 2003). Ainda de acordo com os autores, as estradas rurais consideradas adequadas são aquelas que possuem um desenho adequado da plataforma (composta pela pista de rolamento, pela faixa lateral/acostamento e pela sarjeta), infra-estrutura de drenagem corrente (bueiros) e superficial, e revestimento primário em toda extensão com material de qualidade e com espessura suficiente para suportar o tráfego.

Os materiais mais comuns encontrados na superfície da pista de rolamento são os granulares. É comum encontrar diferentes tipos de material constituindo a camada superior da estrada florestal, independente da umidade, massa específica, composição mineralógica e forma dos grãos, tendo cada um deles sua influência particular no desempenho dos veículos de transporte (MACHADO, 1989).

2.7.3 Nivelamento da estrada

Quando as estradas possuem as características técnicas anteriormente descritas, a atividade de manutenção pode se limitar a reconformação (nivelamento) da pista de rolamento, utilizando-se a motoniveladora, além de serviços básicos como limpeza das obras de arte e drenagem superficial, roçada das faixas laterais e reposição, se necessário, do revestimento primário (BAESSO; GONÇALVES, 2003).

A motoniveladora ou “patrol” é considerada a máquina mais importante para a execução de serviços de construção e manutenção em estradas rurais e florestais. De uma maneira simplificada, são máquinas constituídas basicamente por uma lâmina montada sob um círculo para uma movimentação localizada entre a cabine do operador e o eixo dianteiro, podendo ser rígidas ou articuladas, sendo que as primeiras apresentam melhores resultados para os serviços de regularização ou de patrolagem, enquanto que as articuladas são dotadas de maior poder de mobilidade (INSTITUTO FLORESTAL, 1971; BAESSO; GONÇALVES, 2003).

Dietz et al. (1983) afirmam que o padrão de construção das estradas florestais no Brasil é muito simples, os que as tornam sensíveis às influências climáticas e requerem assim, um manejo cuidadoso e conservação permanente. Baesso e Gonçalves (2003) descrevem essas estradas como “estradas em leito natural”, pois a superfície de rolamento em toda a sua extensão não possuiu nenhum tipo de revestimento primário. Esses autores também confirmam que esta é uma situação freqüente no Brasil e que os custos de manutenção são altos, pois a freqüência de utilização da motoniveladora, para manter a pista de rolamento trafegável, depende fundamentalmente das condições climáticas, ou seja, sempre após o período chuvoso torna-se necessário a utilização desta máquina.

Uma vez que as estradas são construídas fora dos padrões técnicos adequados, muitas vezes as atividades de manutenção tendem a ser realizadas também sem critério e técnicas adequadas. A motoniveladora, por exemplo, quando empregada de forma sistemática e tecnicamente inadequada, pode contribuir para a deterioração da pista de rolamento, principalmente quando provoca um afundamento (encaixe) gradual da pista em relação ao perfil longitudinal, expondo perfis de solo que podem apresentar problemas de estabilidade e por conduzir a movimentação das águas superficiais de forma a potencializar efeitos erosivos nas áreas marginais (SANTOS et al., 1985; GONÇALVES, 2002; BAESSO; GONÇALVES, 2003). Além disso, o corte da camada superficial da estrada para regularizar imperfeições gera um material, que é comumente depositado de forma contínua nas laterais, em toda a extensão da estrada, sem receber nenhum tipo de tratamento, o que os torna fontes potenciais de sedimentos.

Esse fato pode justificar a afirmação de Lugo e Gucinski (2000) de que as atividades de manutenção das estradas podem se aproximar das atividades de construção na quantidade e extensão dos distúrbios e podem prolongar os efeitos ambientais para ecossistemas adjacentes.

Para Dietz et al. (1983), existe uma interessante relação entre os custos de construção e de conservação das estradas, pois quando o padrão de construção se eleva, os custos de construção acompanham este aumento, porém os custos de conservação permanente baixam.

Segundo a FAO (1989), a manutenção é freqüentemente negligenciada ou é realizada impropriamente, resultando em deterioração da estrada. Reconhece-se que a manutenção das estradas é essencial para preservar sua condição original de construção, proteger recursos adjacentes e preservá-los, e proporcionar eficiência durante todo o percurso, por isso é necessário um comprometimento em adotar as técnicas adequadas de construção já conhecidas e, por conseguinte, as técnicas de manutenção.

2.8 Geoprocessamento

Geoprocessamento é o termo usado para denotar a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Sua influência é crescente nas mais diversas áreas, como cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, planejamento urbano e regional e energia. O geoprocessamento representa um potencial enorme em países de grandes dimensões e com carência de informações adequadas para a tomada de decisões, principalmente quando baseado em tecnologias de baixo custo (CAMARA; MEDEIROS, 1998).

O geoprocessamento é o vínculo entre o mundo real e o sistema computacional, onde são transferidas as bases cartográficas, através de um sistema de referência, isto é, georreferenciados. Sua função geral é produzir relatórios, mapas e/ou arquivos digitais seguindo padrões de coordenadas geográficas (DAINESE, 2001).

Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente (CAMARA; DAVIS, 2004).

Geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos. Ou ainda, que “o espaço é uma linguagem comum” para as diferentes disciplinas do conhecimento. Apesar de aplicáveis, estas noções escondem um problema conceitual: a pretensa interdisciplinaridade dos SIGs é obtida pela redução dos conceitos de cada disciplina a algoritmos e estruturas de dados utilizados para armazenamento e tratamento dos dados geográficos (CAMARA et al., 2004).

Várias técnicas de geoprocessamento podem ser usadas com o propósito de monitoramento ambiental, como por exemplo, o sistema de informações geográficas (SIG) e o sensoriamento remoto.

2.9 Sistema de informações geográficas

De acordo com Burrough (1986 apud RIBEIRO, 2002), o sistema de informações geográficas (SIG) pode ser visto como um poderoso conjunto de ferramentas para capturar, armazenar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais do mundo real.

Segundo Bohrer et al. (2001), o SIG é um banco de dados ao qual podem estar acoplados diversos módulos de entrada ou importação, manipulação e análises de dados espaciais e saídas em diversos formatos das informações geradas. Dessa forma, a tecnologia utilizada num SIG permite a integração entre informações georreferenciadas, isto é, a localização espacial de atributos dos diferentes temas com referência a um sistema de coordenadas.

Para Neteler e Mitasova (2002), SIG é uma integração de *hardware*, de *software* e de dados designados para administração, processamento, análise e visualização de dados georreferenciados. Segundo estes autores, seu componente de *software* proporciona condições para o uso efetivo de dados espaciais na resolução de uma enorme gama de problemas.

Segundo Bohrer et al. (2001), um SIG pode ser utilizado no planejamento regional ou ambiental integrando coleta de dados, análise espacial e processo de tomada de decisão. Assim, para estes autores, um SIG pode ser utilizado como banco de dados ambiental, onde dados relevantes sobre os diferentes atributos sócio-econômicos e do ambiente natural podem ser armazenados, manipulados e analisados, podendo ser, ainda, constantemente atualizados e combinados em novas análises. De fato, segundo Assad e Sano (1998) e McCloy (1995), o banco de dados espaciais de um SIG possibilita integração e o cruzamento entre diversos tipos de dados, obtidos em escalas espaciais (cartas planialtimétricas, mapas temáticos, fotografias aéreas e imagens de satélites orbitais, pontos no GPS, entre outros) e não-espaciais (tabelas).

Conforme esses autores, os tipos básicos de análise espacial incluídos na maioria dos SIGs incluem medições (área, perímetro), busca, classificação e modelagem (modelo cartográfico, redes, *buffers*, corredores), distâncias (custo, proximidade), greide, drenagem, interpolação/extrapolação e forma.

De acordo com Assad e Sano (1998), nos SIGs, existem dois modos básicos para a representação de dados que caracterizam a superfície terrestre com todos os seus acidentes e detalhes, modo vetorial ou modo *raster*. Conforme estes autores, na representação vetorial, pontos, linhas e polígonos são delineados por um conjunto de coordenadas de um sistema ligadas a certos atributos.

Segundo Neteler e Mitasova (2002), o modo vetorial é usado para representar áreas, linhas e pontos e este modo é baseado numa representação de nódulos e arcos. Um arco é armazenado como uma série de pontos dados por pares de coordenadas (x,y) chamados vértices e dois pontos consecutivos de coordenadas (x,y) definem um segmento de arco. Os dois pontos extremos de um arco são chamados de nódulos. Os arcos formam as características principais dos mapas que são as linhas (por exemplo, estradas ou rios) e as áreas (por exemplo, fazendas ou florestas). Arcos que contornam áreas são chamados de margens e para cada característica do mapa é definida uma categoria numérica a qual é usada para relacionar dados geométricos com um atributo descritivo desse dado. Por exemplo, num mapa de estradas modo vetor, uma linha que representa uma estrada pode ser definida com o código dois que a associa com o atributo “estrada cascalhada”. Ainda conforme estes autores, em adição às informações de coordenadas, o modo vetor de dados, frequentemente, inclui informações sobre a posição relativa dos objetos em relação aos outros. Já o modo de representação *raster*, segundo Assad e Sano (1998), utilizam um conjunto de células contidas em uma grade com a sua localização, sendo definida pelas coordenadas x e y do sistema de grade. Cada célula é independentemente endereçada com o valor de um atributo.

Neteler e Mitasova (2002) dizem que o modo *raster* é uma matriz de valores. Se os valores são definidos para uma grade de pontos, o modo *raster* está representando um campo contínuo (por exemplo, elevações ou temperaturas) e se os valores são definidos para uma grade de células (unidades de áreas), está representando uma imagem (imagem de satélite ou de *scanner*, por exemplo).

Segundo Assad e Sano (1998), na maioria dos SIGs estes dois modos podem ser integrados e os modelos de dados espaciais mais utilizados para representar os diversos tipos de feições geográficas incluem pontos, linhas, polígonos e *pixels*.

Segundo Sample (1994) e Ramalho Filho et al. (1997), a entrada dos dados no SIG pode ser feita de modo manual, por digitalização ou por arquivos digitais, sendo

a base de dados originada de uma série de mapas ou planos de informações numa mesma escala, definidos pelo mesmo espaço, num sistema de coordenadas e pelo tipo de código armazenado.

De acordo com McCloy (1995) e Assad e Sano (1998), num SIG, podem ser considerados e avaliados um maior número de alternativas e variações do que através de processos convencionais. No entanto, os resultados irão depender em grande parte da precisão dos dados originais. Atualmente, entre os SIGs utilizados, estão o *ArcInfo/ArcView*, *Microstation*, *IDRISI*, *SPRING*, *SAGA*, *SPANS*, *MapInfo*, *AtlasGIS* e o *GRASS*.

O SIG pode ser usado como ferramenta para planejar o traçado de estradas e até impedir a sua construção em determinados trechos, evitando-se assim a perda de solos nas estradas em trechos mais susceptíveis a erosão.

2.9.1 Programa computacional Grass

Segundo Instituto Ecos (2004), o Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos - *GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)* é um sistema de informações geográficas (SIG) com funcionalidades vetorial e *raster*, processamento de imagens, visualização em terceira dimensão, modelagem espacial e produção gráfica.

Conforme Grass Gis Homepage (2006), o *GRASS* foi originalmente desenvolvido entre 1982 e 1995 pela equipe de especialistas do Laboratório de Pesquisa de Engenharia de Construção do Corpo de Engenheiros do Exército Americano, como ferramenta de planeamento e gestão de áreas com fins militares.

De acordo com Neteler e Mitasova (2002), o *GRASS* atualmente inclui mais de trezentos e cinquenta módulos para integração de dados geoespaciais de várias fontes (projeções e transformações de coordenadas, conversões de formatos, interpolação espacial, etc), processamento de imagens (fotos aéreas e de satélite, por exemplo), análises espaciais (estatísticas espaciais, combinação de dados espaciais para encontrar mapas com as características desejadas), análise e otimização de redes de trabalho, computação gráfica (visualização de dados georreferenciados na forma digital ou em mapas de papel impressos) e

simulação de processos espaciais (rede de transportes, crescimento urbano, migrações populacionais, evolução do ecossistema, erosão e poluição da água, etc).

Os usuários deste SIG têm completo acesso ao código fonte, que possibilita o desenvolvimento de novas tecnologias com baixos custos, características não comuns aos usuários de *softwares* proprietários (NETELER; MITASOVA, 2002).

2.10 Custos de produção no setor agropecuário

Segundo Neves et al. (1996), as determinações de custo são feitas com várias finalidades. Para o agricultor servem como elemento auxiliar de sua administração na escolha das culturas, criações e nas práticas a serem utilizadas. Para o Governo e entidades de classe, fornecem subsídios à formulação de sua política agrícola. Essa política pode se referir à fixação de preços para efeito de tabelamento, ao cálculo das necessidades de crédito, à orientação dos trabalhos de assistência técnica à produção e à fixação de preços mínimos.

Os custos muitas vezes são confundidos com despesas e gastos, mas, em economia, estas palavras têm significados diferentes. As despesas são entendidas como o valor de todo o pagamento à vista ou a crédito realizado pela empresa. Os pagamentos de salários e de insumos são exemplos de despesas com compensação produtiva. Já as doações a entidades não o são. Os gastos são todos os desgastes de valores ou de materiais e energia expressa em valores dentro da empresa. Os gastos surgem no momento de consumo, e as despesas, quando há desembolso para o pagamento (MACHADO, 2002).

A determinação dos custos de produção nas atividades agrícolas, pecuárias, florestais e ainda industriais, são, ao mesmo tempo, um dos processos mais simples e mais elaborados em economia. Simples porque não envolvem cálculos elaborados para sua efetivação. Entretanto, torna-se complexo, porque muitas vezes este processo reveste-se de elementos altamente subjetivos para sua análise (NEVES et al., 1996).

Por outro lado, os cálculos dos custos de produção são elementos importantes para auxiliar o produtor ou empresa no processo de tomada de decisão para atingir a melhor rentabilidade possível dentro das condições disponíveis.

Além de auxiliar na determinação da rentabilidade das atividades, é possível utilizar os custos de produção para determinar as causas ou motivos de possíveis

variações dos custos unitários das diferentes explorações ou mesmo de uma determinada exploração em diferentes sistemas de produção, além de determinar corretamente as exigências físicas dos fatores de produção, bem como um dos elementos mais importantes para a tomada de decisão (NEVES et al., 1996).

Para que os custos sejam calculados é de fundamental importância que se conheçam três itens: os produtos cujo custo se planeja calcular, os materiais utilizados na produção e o processo de produção.

Há vários significados para a expressão custo de produção, ou simplesmente custo:

- a) para fins de análise econômica o termo custo significa a compensação que os donos dos fatores de produção, utilizados por uma firma para produzir um determinado bem, devem receber, para que eles continuem fornecendo estes fatores à firma. Diz-se compensação ao invés de pagamentos porque em certos casos não ocorre um pagamento formal, como quando se está operando um negócio próprio em que parte do capital pertence ao empresário e o empresário não paga a si mesmo pelo uso deste capital, mas existe o que chamamos de custo de oportunidade do capital (HOFFMANN et al., 1989).
- b) é o pagamento pela utilização dos recursos produtivos utilizados na produção de determinados bens.
- c) é o desembolso que se gasta com fatores de produção diretamente utilizados na produção de determinado produto.
- d) é o custo de uso dos fatores de produção.

As determinações de custo são feitas com várias finalidades e estas finalidades refletem naturalmente os interesses das instituições que tratam deste assunto.

2.11 Custos das estradas

O número de acidentes nas estradas brasileiras, tanto revestidas ou não, têm sofrido um aumento considerável nos últimos anos, face ao aumento da demanda. O nível de segurança não acompanhou o aumento do tráfego que ocorreu devido ao crescimento econômico do país decorrente da expansão da produção industrial e agropecuária nas últimas décadas. Com aumento do tráfego, ocorreram também evoluções tecnológicas consideráveis

dos veículos tanto de carga como de passageiros. Em particular no transporte de carga, estão disponíveis no mercado veículos mais potentes com maior capacidade unitária. Por esse motivo, pode-se verificar em muitos casos que a geometria horizontal e vertical das vias é atualmente incompatível com as condições de tráfego por não acompanhar o avanço tecnológico dos veículos. Conseqüentemente, acaba por contribuir na ocorrência de acidentes e na lentidão dos veículos, causando também o aumento nos custos dos transportes, particularmente nos veículos de cargas (OLIVEIRA, 2005).

Liautaud (1994) menciona que os custos de operação dos veículos em vias não-pavimentadas são, em geral, de 10% a 30% maiores que os custos em vias pavimentadas, isto se deve principalmente às diferenças nas condições de rugosidade da superfície.

Machado (2002) relata que os custos de estradas, na época da colheita de madeira, requerem investimentos na construção e manutenção das estradas florestais, com os seguintes objetivos:

- a) facilitar o deslocamento das máquinas;
- b) transportar pessoal;
- c) viabilizar veículos de apoio;
- d) reduzir as distâncias na extração;
- e) facilitar o escoamento da produção e outros.

Ainda Machado (2002), os componentes dos custos de estradas são:

- a) custo de construção (depreciação);
- b) custo de manutenção;
- c) preço do terreno;
- d) redução da área de plantio (custo de oportunidade);
- e) taxa de juros.

2.11.1 Custo de construção

Lopes et al. (2002) citam como principais itens de custos de construção de estradas florestais, o levantamento topográfico, limpeza e terraplenagem, drenagem e revestimento, onde:

- a) Levantamento topográfico: os custos com levantamento topográfico referem-se aos serviços realizados por uma equipe de um topógrafo e três ajudantes.
- b) Limpeza e terraplenagem: os custos de limpeza e terraplenagem referem-se às atividades de corte de árvores, destoca, remoção de resíduos, remoção da matéria orgânica, execução de corte e aterro e compactação.
- c) Drenagem: os custos de drenagem se referem à construção de bueiros e sarjetas e à colocação de manilhas.
- d) Revestimento: estes custos se referem ao revestimento primário (cascalho) obtido em jazida a uma distância média.

2.11.1.1 Depreciação das estradas

Depreciação é um conceito essencialmente contábil, mas de grande importância nos estudos econômicos. Na prática ocorre, freqüentemente, confusão entre o conceito técnico de depreciação (permitida por lei como item de custo de produção) e o conceito mais amplo de depreciação tomado como perda de valor do bem durável com o passar do tempo (NORONHA, 1987).

Os custos de depreciação correspondem àqueles provenientes de bens que não são consumidos em um ano, ou seja, bens de capital. Estes custos se referem aos custos inerentes do processo natural de desvalorização pelo qual passam os ativos, ao longo de sua vida útil. As causas da existência desses custos são as desvalorizações que ocorrem com o passar do tempo, em razão do uso, ou pela obsolescência tecnológica, com o surgimento de máquinas mais modernas e eficientes (SPEIDEL, 1966).

Conforme Noronha (1987), os métodos de depreciação mais utilizados são:

- a) Método linear: o método linear consiste na aplicação de taxas constantes durante o tempo de vida útil estimado para o bem e é o mais frequentemente utilizado;
- b) Método do saldo decrescente: este método usa uma taxa constante de depreciação aplicada sobre o valor residual do ano anterior. Como o valor residual decresce e a taxa é a mesma, o valor de depreciação tende a ser maior no início, diminuindo paulatinamente à medida que o bem de capital envelhece;
- c) Método da soma dos números que representam a vida útil do bem depreciado, ou método dos números naturais: este método consiste em estipular taxas variáveis, durante o tempo de vida útil do bem, adotando-se o seguinte critério: somam-se os algarismos que formam o tempo de vida útil do bem, obtendo-se assim, o denominador da fração que determinará o valor da depreciação em cada período.
- d) Método do fundo de formação do capital: ao contrário dos dois métodos anteriores, a taxa de depreciação é decrescente neste caso. Mas esta taxa se aplica sempre ao mesmo valor como no método linear. Desta forma, a taxa de depreciação e o valor da depreciação anual e, conseqüentemente, o valor residual decresce à medida que o bem vai se depreciando.

Segundo MDEP (2001) cinco são os fatores que afetam a duração de uma estrada não pavimentada e sua serventia durante toda a sua vida útil:

- a) Cargas provenientes do tráfego: os danos na estrada dependem tipicamente do número e do peso de caminhões que trafeguem pela via, não quanto ao número de veículos leves;
- b) Qualidade do subleito: estradas não pavimentadas necessitam de um subleito de boa qualidade para ajudar a suportar o tráfego pesado. Um subleito construído adequadamente influencia sobremaneira no desempenho e na vida da estrada;
- c) Processo construtivo: o uso de materiais de qualidade e uma técnica construtiva adequada podem aumentar sensivelmente a vida de uma via não pavimentada;
- d) Programa de manutenção: as vias não pavimentadas requerem uma manutenção rotineira e preventiva regulares, tendo por base o ideal de prevenir situações mais danosas, o que aumentaria os custos de reabilitação;

- e) Presença da água em excesso: diz-se que 80% dos problemas sofridos pelas vias não pavimentadas são ocasionados devido à presença de água decorrente de uma drenagem deficiente.

Machado (2002) e Silva et al. (2005) propuseram que a vida útil de uma estrada florestal seja de vinte anos, enquanto que Pereira et al. (2001) considerou em seu estudo, dez anos de vida útil para uma estrada florestal. Os autores Duarte e Berger (1998) afirmaram que a vida útil de uma estrada florestal pode ser de vinte a trinta anos, dependendo de suas características.

2.11.2 Custo de manutenção

Um dos principais custos de manutenção de estradas não pavimentadas é a deterioração da superfície, ocorrendo a necessidade de correção. A manutenção tem como objetivo conservar a superfície de rolamento razoavelmente isenta de irregularidades, firme e livre da perda excessiva de material solto, além de manter o greide transversal do leito da estrada apropriada para assegurar o escoamento superficial das águas (DNER, 1981). É constituída de um conjunto de atividades que são executadas para minimizar os defeitos e, conseqüentemente, reduzir os custos operacionais dos veículos, prolongar a vida das estradas e proporcionar aos usuários um meio seguro, econômico e confortável de acesso para áreas rurais (ROBERTS; ROBINSON, 1983).

Segundo Santos et al. (1985), as principais atividades de manutenção são: revestimento primário; agulhamento e mistura areia e argila. Deve-se destacar que na execução dessas atividades está implícita a conformação adequada da seção transversal.

- a) Revestimento primário: constitui-se em uma camada colocada sobre o subleito, ou base obtida pela compactação de uma mistura de material argiloso com material granular. O objetivo do uso do material granular é aumentar o atrito da pista com as rodas dos veículos.
- b) Agulhamento: consiste na operação de cravação, por compactação, de material granular diretamente no subleito, se este for argiloso, ou sobre uma base. Os materiais granulares mais indicados para o agulhamento são os pedregulhos limpos, cascalhos e piçarras resistentes. Para execução do agulhamento devem ser executadas as seguintes etapas:

regularização da pista; escarificação do subleito ou lançamento da camada de argila; lançamento e espalhamento do material granular; revolvimento conjunto dos materiais; umedecimento ou secagem (se necessário) e compactação.

- c) Mistura de Areia e Argila: esta mistura é utilizada principalmente quando o subleito é arenoso, ocorrendo o problema de "areião". A adição de argila propicia a formação de uma camada de boa qualidade como pista de rolamento, tornando coesivo o material que já apresenta boas condições de suporte. As etapas de execução da mistura areia e argila são: regularização da pista; lançamento e espalhamento de argila seca e destorroada; mistura com grade disco; umedecimento e compactação.

2.11.3 Custo de oportunidade

O conceito de custo de oportunidade é sempre presente quando a aceitação de uma alternativa exclui outras. Assim, “representa o custo de oportunidade o quanto a empresa sacrificou em termos de remuneração por ter aplicado seus recursos numa alternativa ao invés de outra” (MARTINS, 1995).

Heymann e Bloom (1990) também fazem referência ao que denominam de princípio do custo de oportunidade, o qual tem origem no fato de que “o uso de um recurso econômico em uma aplicação exclui o seu uso em outra”.

Horngren (1985) define custo de oportunidade como “a contribuição máxima disponível de que se abre mão utilizando-se recursos limitados para um determinado fim”. Da expressão “contribuição máxima”, pode-se entender uma referência a melhor das alternativas abandonadas.

De acordo com Silva et al. (1997), o custo de oportunidade da terra é o retorno que pode ser obtido caso os investimentos em terra fossem aplicados em outra alternativa financeira.

Machado (2002) cita como custo de oportunidade nos custos de estradas o uso da terra e o custo de capital empregado na construção.

2.11.4 Taxa de juros

Os juros podem ser definidos como a remuneração obtida pela não-utilização imediata do capital, em detrimento de uma satisfação de uma necessidade atual, sendo esperada uma maior satisfação futura (NEVES et al., 1996).

Os juros servem para atualizar o valor do dinheiro no tempo. Um indivíduo de posse de uma certa quantidade de dinheiro pode hoje, se assim desejar, adquirir um produto que lhe proporcione uma certa satisfação atual. Outra opção seria emprestar o dinheiro cobrando uma certa taxa de juros, ou então aplicar o dinheiro em algum título no mercado financeiro que lhe remunere a uma determinada taxa de juros. A possibilidade de o indivíduo obter, ao longo do tempo, uma remuneração de capital conduz ao conceito de valor do dinheiro no tempo. Considerando que o dinheiro tem valor no tempo, uma quantia de dinheiro apresenta em instantes diferentes valores também diferentes (NEVES et al., 1996).

Segundo Speidel (1966), os custos de juros correspondem ao pagamento pelo uso do capital e dividem-se em:

- a) juros reais, quando o capital é emprestado (empréstimo);
- b) juros calculados (ou custo de oportunidade do capital), quando o capital é próprio da empresa.

A utilização dos juros torna-se importante para a análise de atividades econômicas realizadas num horizonte temporal mais longo, como é o caso dos custos de estradas.

2.12 Avaliação de projetos de investimento

A avaliação de projeto de investimento envolve um conjunto de técnicas que buscam estabelecer parâmetros de sua viabilidade. Em geral, esses parâmetros são expressos pelo *payback* (Pb, prazo de retorno do investimento inicial), da TIR (taxa interna de retorno) ou do valor presente líquido (VPL, resultado dos fluxos de caixas, descontados a data zero pelo custo de capital do projeto e subtraído do investimento inicial) (RANDOLPH; JAFFE, 1995).

O método do *payback* representa o período de recuperação do investimento inicial. É obtido calculando-se o número de anos que será necessário para que os fluxos de caixa futuros acumulados igualem o montante do investimento inicial. Esta

alternativa pressupõe inicialmente a definição de um limite de tempo máximo para retorno do investimento. Após a definição deste prazo é analisado o fluxo de recursos do projeto, comparando o volume necessário de investimento com os resultados a serem alcançados futuramente, verificando o período onde o saldo tornou-se igual a zero. Se este prazo de recuperação for um período aceitável pelos proprietários, então o projeto será efetivado, caso contrário será descartado. Este método é aplicado de duas formas: *payback* simples e *payback* econômico. A principal diferença entre os dois é que o *payback* econômico considera o valor temporal do dinheiro, ou seja, atualiza os fluxos futuros de caixa a uma taxa de aplicação no mercado financeiro, trazendo os fluxos a valor presente, para depois calcular o período de recuperação (WESTON; BRIGHAM, 2000).

Segundo Gitman (2001), o período *payback* é amplamente usado por grandes empresas para avaliar pequenos projetos e por pequenas empresas para avaliar a maioria dos projetos. Sua popularidade resulta da simplicidade de seu cálculo e do apelo intuitivo. Ele também atrai no sentido de que leva em consideração fluxos de caixa em vez de lucros contábeis. Ao mensurar quão rápido uma empresa recupera seu investimento inicial, o período de *payback* também considera implicitamente o *timing* dos fluxos de caixa e, por conseguinte, o valor do dinheiro no tempo. Já que ele pode ser visto como uma medida de exposição ao risco, muitas empresas usam o período de *payback* como um critério para tomada de decisões ou como um suplemento para outras técnicas de tomada de decisão. Quanto mais tempo a empresa tem de esperar para recuperar seus recursos investidos, maior será a possibilidade de um fracasso. Por conseguinte, quanto mais curto o período de *payback*, menor é a exposição da empresa a tal risco.

Conforme o mesmo autor, o valor presente líquido é uma técnica de orçamento de capital obtida pela diferença entre os fluxos de entrada e saída de caixa, descontados a uma taxa igual à do custo de capital da empresa. Esta técnica identifica, em unidades monetárias, o incremento de riqueza, decorrente da implantação do projeto.

Noronha (1987) afirma que o termo “valor presente líquido”, às vezes, é usado com o intuito de chamar a atenção para o fato de que os fluxos monetários medem a diferença entre as receitas operacionais líquidas e os investimentos adicionais feitos com o projeto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Local

A pesquisa foi desenvolvida em uma propriedade rural de reflorestamento, a qual possui um total de 11.909 ha, com um plantio efetivo em 9.804 ha; pertencente a uma empresa particular que produz madeira da espécie *Eucalytus grandis*, com um ciclo de corte de seis anos, situada entre os pontos geográficos de latitude 22°47'37.86"S a 22°48'29.74"S e longitude 48°58'56.39"W a 48°49'28.16"W, no interior do Estado de São Paulo (FIGURA 8). O critério de seleção do local de experimentação adotado passou pela disponibilidade dos recursos e pela disponibilidade de dois diferentes sistemas de rede viária florestal.

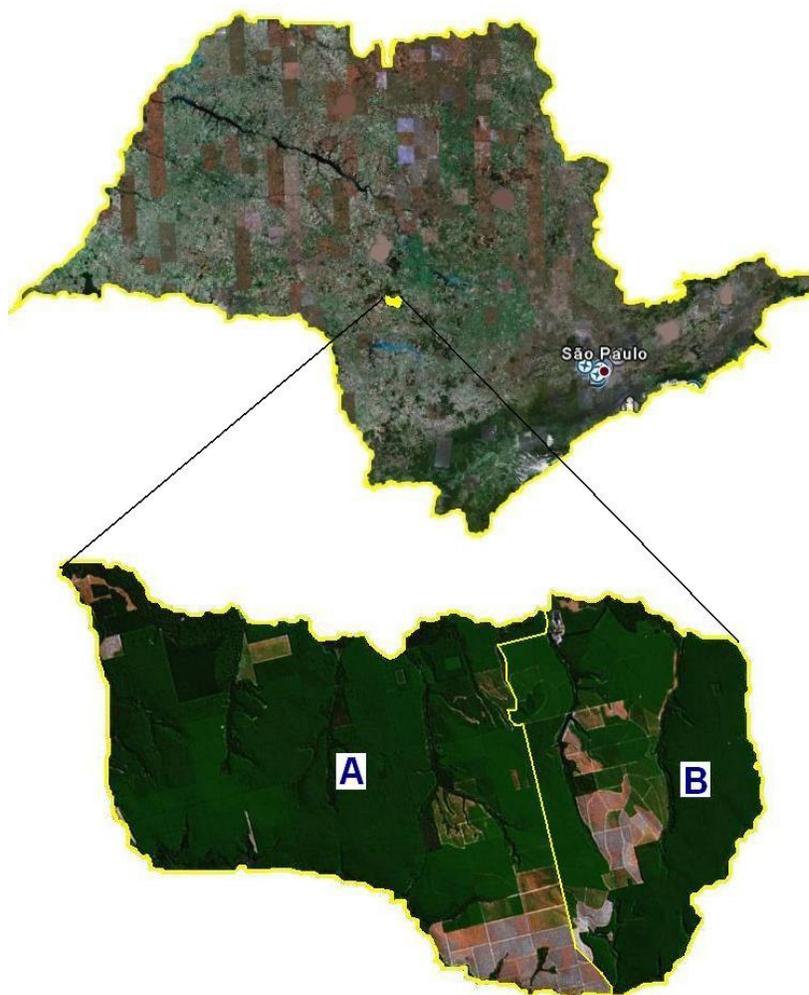


Figura 8: Área rural de reflorestamento, onde (A) rede viária ortogonal e (B) rede viária em nível.

Fonte: *Google earth*, 2007.

A área rural está dividida em duas partes distintas no que se refere à rede viária (FIGURA 9):

- a) Rede viária ortogonal: onde as estradas foram construídas em linhas retas, formando talhões retangulares, chamadas de estradas ortogonais;
- b) Rede viária em nível: onde as estradas seguem as curvas do relevo, chamadas de estradas em nível.

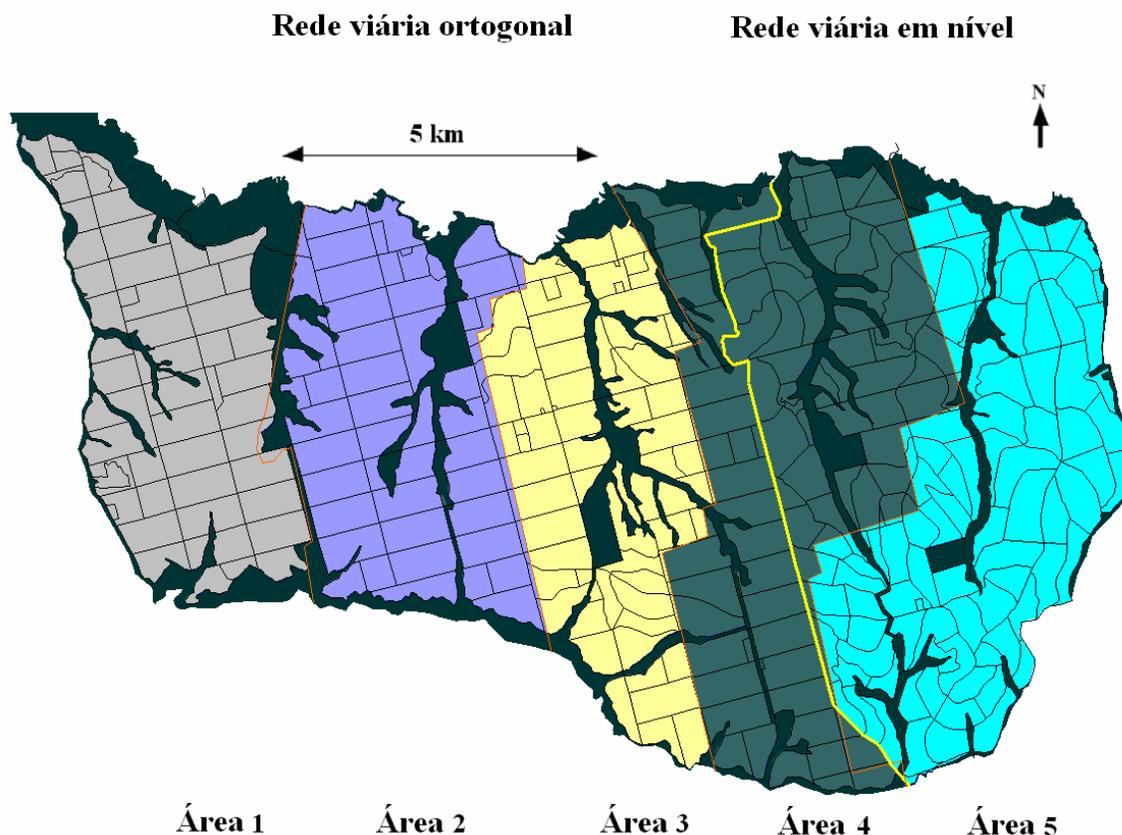


Figura 9: Áreas referentes à classe de solo da propriedade de reflorestamento.

Fonte: Mapa digitalizado com base nos dados fornecidos pela empresa.

A área rural possui uma topografia plana a ondulada e foi dividida em cinco áreas (FIGURA 9), segundo as diferentes classes de solo. A Área 1, com 2.047,00 ha, é composta por Latossolo Vermelho, com relevo caracterizado como suavemente ondulado, possuindo declives que podem chegar a 15% e comprimento da rampa excedendo a 500 metros. A Área 2 e Área 3, com 1.991,00 ha e 2.019,35 ha, respectivamente predominam Latossolo Vermelho de textura arenosa, possuindo o restante das características idênticas ao da Área 1. Nas Áreas 1, 2 e 3 está localizada a maior parte da rede viária ortogonal. A Área 4, com 2.957,60 ha, é a única área que contém as redes viárias ortogonal e em nível, possui rampas que ultrapassam a 10% de declive e onde predomina o Latossolo Vermelho. Na Área 5, com 2.774,00 ha, o que a difere das outras áreas é o relevo ondulado, com declividade entre

10 a 15%, com superfícies inclinadas de forma retilínea, marcada pela ausência de topos aplainados, onde está localizada a maior parcela da rede viária em nível.

3.1.2 Máquinas e tratores utilizados

As máquinas e tratores empregados na construção de novas redes viárias em outras propriedades rurais pertencentes à mesma empresa florestal e na manutenção de estradas já existentes foram: trator pesado e médio, caminhão basculante, carregador florestal, motoniveladora, caminhão tanque e retroescavadora (TABELA 6).

Tabela 6: Máquinas utilizadas na construção e manutenção de estradas.

Máquinas	Características (marca e modelo)
Motoniveladora	CATERPILLAR – CAT 120
Caminhão tanque	VOLKSWAGEN - VW 26260
Trator pesado + compactador	VALTRA – BH 140 + Rolo liso de 8.000 kg
Trator pesado + subsolador	VALTRA – BH 140 + Subsolador
Trator médio + adubadora	VALTRA – BH 140 + Adubadora
Retroescavadora	MASSEY FERGUSON – MF - 86 HS
Carregador florestal	VALTRA - BM-110 + Grua florestal
Caminhão basculante	FORD – F 14.000

Fonte: Dados fornecidos pela empresa florestal.

3.2 Métodos

3.2.1 Critérios para classificação das redes viárias florestais

Para a classificação das estradas florestais da área em estudo, foi considerado o sistema de construção das estradas florestais, subdividido atualmente em dois sistemas de redes viárias. Uma área que contém estradas conforme o relevo, chamada de rede viária em nível e a outra área formada por estradas retas, chamada de rede viária ortogonal.

3.2.1.1 Rede viária ortogonal

O tipo de rede de estradas florestais ortogonais foi construído nos anos de 1971 a 1973, com estradas formando talhões de plantio retangulares com largura de 500 m e comprimento de 1.000 m, e sem abaulamento do leito e sarjetas de drenagem.

3.2.1.1.1 Estradas principais

As estradas principais ou rotas possuem 10 m de largura, estão situadas de forma ortogonal e concentram um tráfego intenso de tratores, maquinário agrícola e caminhões de elevada tonelagem, por isso recebem um tratamento especial como o revestimento com cascalho, para garantir um trânsito eficiente em qualquer época do ano e eliminar uma possível ocorrência de erosão no próprio leito da estrada ou nos terrenos marginais.

Já a manutenção no sistema de drenagem é realizada com a máquina motoniveladora utilizada também para a correção de nivelamento. O rendimento médio desta máquina é de 30 minutos para cada camalhão restaurado.

3.2.1.1.2 Estradas secundárias

As estradas secundárias possuem 10 m de largura, como as estradas principais também estão situadas de forma ortogonal e concentram um tráfego intenso somente em época de colheita (de seis em seis anos) e por isso não possuem revestimento de cascalho.

3.2.1.1.3 Carreadores de bordadura

Estes carreadores, com 6 m de largura, são construídos ao longo de cercas divisórias ou separando o reflorestamento da mata ciliar. É retirada somente a cobertura vegetal e feito o nivelamento do leito do carreador. Como não recebem revestimento, a sua

localização deve ser evitada ao máximo a proximidade de áreas de exudação ou áreas alagadas.

A limpeza nas estradas secundárias e nos carregadores de bordadura, que consiste na roçada do excesso de vegetação, é realizada uma vez ao ano depois da época de chuvas, para se evitar o risco de incêndios.

3.2.1.2 Rede viária em nível

A rede viária em nível foi uma transformação do sistema ortogonal em rede de estradas em nível, nos anos de 1988 a 1994. É formada por quatro tipos de estradas florestais: estradas principais, carregadores em nível, carregadores em pendente e carregadores de bordadura.

3.2.1.2.1 Estradas principais

As estradas principais em nível possuem 8 m de largura e estão localizadas nos “divisores de água” das microbacias hidrográficas.

A localização das estradas sobre os divisores de águas foi adotada para possibilitar uma melhor conservação das estradas, pois eliminam a possibilidade de recepção de águas pluviais oriundas dos terrenos marginais, possuindo abaulamento e sarjetas em ambos os lados da estrada (FIGURA 10). Estas estradas são submetidas a um tráfego intenso e a tratamento especial como o revestimento com cascalho semelhante ao das estradas principais do sistema de rede ortogonal.

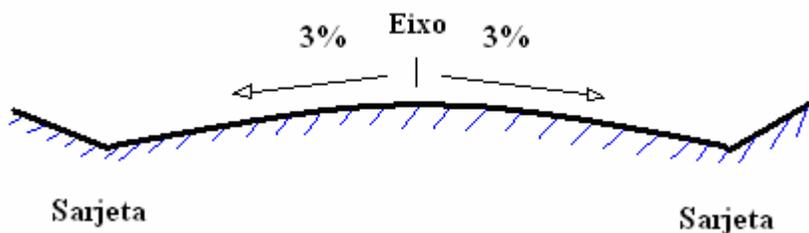


Figura 10: Perfil do abaulamento da estrada principal.

Fonte: DURATEX, 1988.

3.2.1.2.2 Carreadores em nível

Estes carreadores em nível, com 6 m de largura, foram projetados para separar grupos de talhões, evitando-se que os carreadores em pendente, que definem os talhões, fiquem excessivamente longos, concentrando muita água, dificultando a drenagem e provocando erosão não só no próprio carreador como nos terrenos marginais. Nestes carreadores foram observados os seguintes detalhes:

- a) A sarjeta desse tipo de carreador é única e fica situada à montante do mesmo, de modo que, em perfil, o carreador se apresentou conforme Figura 11:

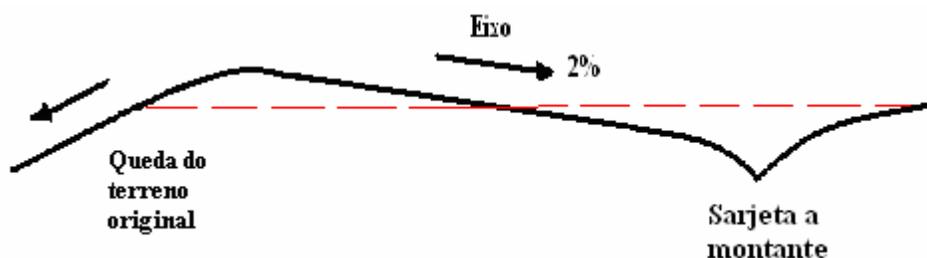


Figura 11: Perfil do carreador em nível.

Fonte: DURATEX, 1988.

- b) a água proveniente do grupo de talhões à montante desse carreador, é recebida pela sarjeta que exercerá uma dupla função: proteger o carreador e retirar a água sem provocar erosão até a vegetação de fundo de vale ou vegetação ciliar.
- c) estes carreadores podem ser nivelados, mas observou-se um declive longitudinal de 3%.
- d) as sarjetas situadas à montante devem atravessar não só os carreadores pendentes como também os carreadores de fundo de vale para lançar a água na vegetação ciliar. A travessia adotada foi por meio de passagem molhada, bem mais econômica do que a passagem feita por meio de bueiros.

A passagem molhada consiste em uma depressão no carreador de fundo de vale ou no final do carreador pendente, devidamente protegida, por onde a água atravessa o carreador. Para proteção da passagem molhada, é pavimentada com cascalho semelhante às estradas principais (FIGURA 12; FIGURA 13).

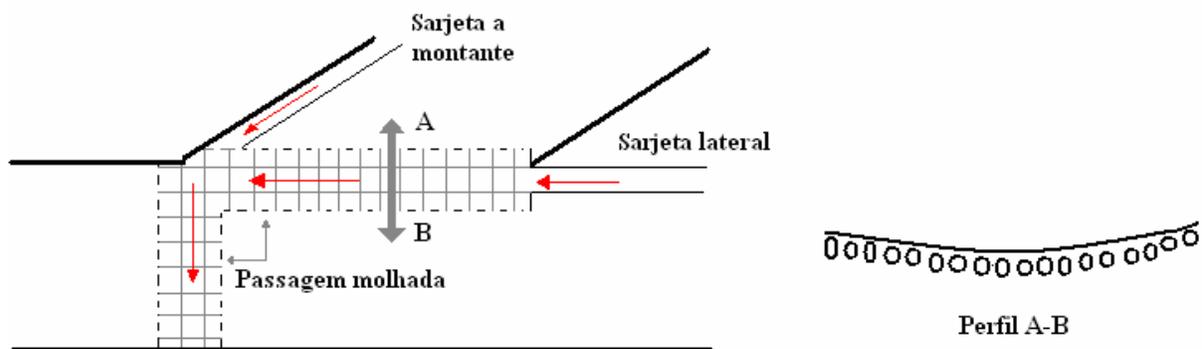


Figura 12: Passagem molhada no carreador de fundo ou no final do carreador em pendente.

Fonte: DURATEX, 1988.



Figura 13: Passagem molhada ao final de um carreador em nível.

3.2.1.2.3 Carreadores em pendente

Estes carreadores são os que definem a outra dimensão dos talhões, com 6 m de largura. Os carreadores pendentes separam os talhões, seguindo o mesmo esquema das estradas principais, são abaulados, tendo sarjetas laterais em ambos os lados.

3.2.1.2.4 Carreadores de bordadura

Possuem 6 m de largura e são construídos ao longo de cercas divisórias ou separando o reflorestamento da vegetação ciliar protetora, seguindo os moldes do carreador de bordadura da rede de estradas ortogonais.

3.2.2 Levantamento de dados

Os dados de campo foram coletados utilizando-se da aplicação de questionário, que foi elaborado com questões gerais e específicas, abordando assuntos, tais como: métodos de construção e manutenção das estradas, rendimentos operacionais e custos.

Em relação aos custos das máquinas, a empresa possuía um método próprio de gerência para as estimativas de custos operacionais das máquinas utilizadas na construção e manutenção de estradas florestais.

Para o levantamento da quantidade de camalhões existentes nas redes viárias foram escolhidos diversos trechos de estradas, onde ocorre a movimentação de veículos permanentemente ou temporariamente na época de colheita da madeira. Estes trechos estão localizados na Área 4 (FIGURA 9), onde estão situadas partes da rede viária ortogonal e em nível.

Os trechos de estradas foram percorridos em automóvel e com auxílio de mapas gerados pelo programa computacional do sistema de informações geográficas. A extensão do experimento foi de 52,46 km, divididos proporcionalmente entre as estradas da rede ortogonal e em nível. Foram observados e anotados nos mapas o número de camalhões encontrados para cada rampa de estrada percorrida (FIGURA 14).

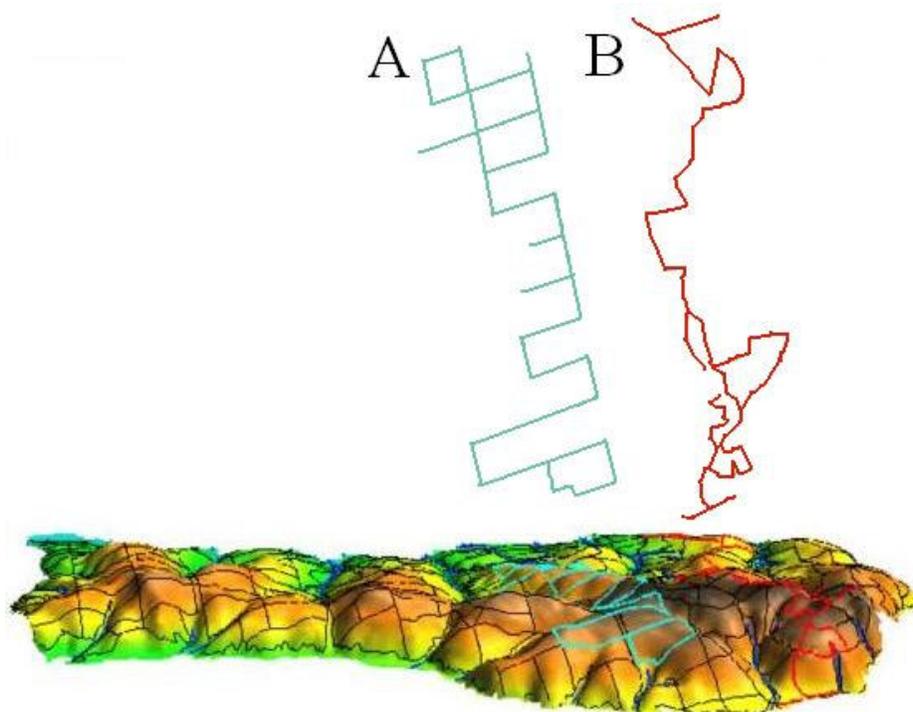


Figura 14: Trechos percorridos da rede viária ortogonal (A) e da rede viária em nível (B).

Dos camalhões observados para a parcela em estudo (52,46 km), adotou-se a análise estatística para um modelo de regressão polinomial para a rede viária ortogonal e em nível, realizado através programa estatístico *SigmaStat 3.1*, onde estimou-se a função da distância entre camalhões em função do greide das estradas.

O modelo teórico da distância entre camalhões para fator topográfico LS igual a 1, foi calculado isolando-se a variável l (comprimento da rampa) da Equação 2 (pg. 18). Desta forma para o cálculo da distancia entre camalhões foi utilizada a Equação 3.

$$l = 22,1 \times m \sqrt{\frac{LS}{\frac{1}{27} \times \sqrt{s}}} \quad (3)$$

onde:

l = comprimento da rampa (m);

$LS = 1$;

m = expoente do comprimento da rampa (TABELA 1);

s = greide (%).

Com a distância entre camalhões calculada conforme Equação 3 calculou-se então o número de camalhões (modelo teórico) para as redes viárias ortogonal e em nível (APÊNDICES 3 e 4).

Ainda para o modelo teórico do número de camalhões, também foi realizada uma análise estatística de regressão linear para estimar a equação do número de camalhões por km mantendo o fator topográfico LS igual a 1 em função do greide, realizado por meio do programa estatístico *SigmaStat 3.1*.

3.2.3 Descrição dos diferentes sistemas de redes viárias

Embora no estudo as redes viárias já existam, ortogonal e em nível, optou-se por ampliar a análise econômica, simulando cinco diferentes sistemas de redes viárias, conforme segue:

- a) Ortogonal 1: rede viária ortogonal construída há trinta e quatro anos e que permanece em uso. Consiste em estradas em linha reta formando talhões retangulares independentemente do relevo do terreno. Neste caso, a depreciação foi estimada para um período de trinta e quatro anos.
- b) Ortogonal 2: rede viária ortogonal que foi eliminada após vinte e um anos de uso. Idêntica à rede viária Ortogonal 1, entretanto foi considerada na depreciação uma vida útil de vinte e um anos.
- c) Readequada 1: a rede viária ortogonal foi readequada para uma rede viária em nível, com a eliminação dos segmentos de estradas que não acompanhavam o nível do terreno. Nestes trechos, foi realizada a descompactação e adubação complementar, possibilitando o plantio. Nos segmentos novos foi realizada a limpeza e remoção dos tocos de eucalipto para a implantação do novo trajeto das estradas em nível. Para o sistema de drenagem das estradas foi considerado o número de camalhões por km observados no estudo de campo.
- d) Readequada 2: idêntica à Readequada 1, entretanto, a estimativa dos custos de construção e manutenção do sistema de drenagem foi calculada utilizando-se o modelo teórico da distância entre camalhões conforme o greide da rampa, de acordo com o item 4.2.2, pg. 81.
- e) Nível: neste caso foi considerada a rede viária em nível numa área que não possui estradas. A estimativa dos custos de construção e manutenção do sistema de drenagem foi calculada

utilizando-se o modelo teórico da distância entre camalhões conforme o greide da rampa, igualmente utilizado na rede viária Readequada 2.

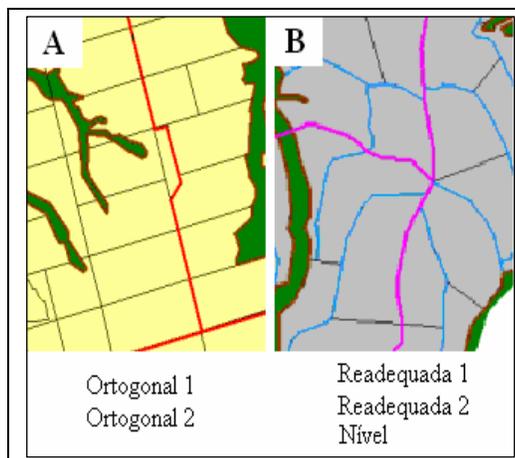


Figura 15: Malha viária dos sistemas de redes viárias.

As redes viárias Ortogonal 1 e 2 (A) possuem os mesmos formatos retangulares de trajetos. Já as redes viárias Readequada 1, Readequada 2 e Nível (B) possuem os mesmos trajetos, só que estes acompanhavam o nível do terreno (FIGURA 15).

3.2.4 Estimativa dos custos de construção

Os custos de construção de estradas foram estimados de acordo com a Equação 4 (LOPES et al., 2002):

$$C = T + L + T_e + D_{re} + P \quad (4)$$

onde:

C = custo de construção (R\$/km);

T = custo de levantamento topográfico (R\$/km);

L = limpeza, referente aos custos de serviços de corte de árvores, destoca, remoção de resíduos e remoção de matéria orgânica (R\$/km);

T_e = terraplenagem, referente aos custos de execução de corte, aterro e compactação (R\$/km);

D_{re} = referente aos custos de construção de camalhões, saídas de água e caixas de contenção (R\$/km);

P = custo do revestimento primário (cascalho) (R\$/km).

3.2.5 Depreciação das estradas

Para o presente estudo, utilizou-se o conceito de depreciação real, ou seja, quando a diminuição efetiva do valor de um bem é resultante do desgaste pelo uso, ação da natureza ou obsolescência normal.

Para as estradas ortogonais eliminadas, empregou-se o método de depreciação linear, metodologia descrita por Hoffmann (1989). O valor depreciável, ou seja, a diferença entre o custo de construção (V_c) e o valor de residual (V_r) é dividida pelo período de utilização, sendo o valor depreciado constante em qualquer ponto da vida útil do ativo. Dessa forma, a taxa de depreciação é variável ao longo da vida útil do ativo, tornando-se sempre como base o seu valor residual no período anterior. Para o sistema de rede viária Ortogonal 2, considerou-se vida útil de vinte e um anos, pois representa o período entre a construção a eliminação dessa rede viária (de 1973 a 1994).

Tem-se na Equação 5 que:

$$D = \frac{V_c - V_r}{n} \quad (5)$$

onde:

D= depreciação anual (R\$/km.ano);

V_c = custo de construção (R\$/km);

V_r = valor residual ao final da vida útil (0);

n = vida útil de vinte e um anos;

Neste caso, o valor residual ao fim da vida útil é considerado zero.

Para o sistema de rede viária Ortogonal 1, empregou-se o método de depreciação dos saldos decrescentes, ou seja, taxa anual constante e valor monetário decrescente, descrita por Noronha (1987). Adotou-se este método, pois a rede viária Ortogonal 1 já vem sendo utilizada a trinta e quatro anos e não há uma previsão de término dessa vida útil. Desta forma, adotou-se uma taxa de depreciação constante de 5 % ao ano (USDA, 2001).

Portanto tem-se na Equação 6 que:

$$\begin{aligned} D_t &= VRe_{t-1} \cdot d \\ VRe_t &= VRe_{t-1} - D_t \end{aligned} \quad (6)$$

onde:

D= depreciação anual (R\$/km.ano);

VRe = valor residual anual (R\$/km.ano);

d = taxa de depreciação constante (5 % a.a.);

t = período.

Para as estradas das redes viárias Readequada 1, Readequada 2 e Nível, não foi considerada a depreciação econômica, pois não foram encontrados estudos e informações sobre a vida útil desses sistemas de redes viárias.

3.2.6 Estimativa do custo de manutenção anual

Conforme encontrado na coleta de campo, os dados dos custos de manutenção foram dados na Equação 7:

$$M = N + LM + DM_{re} \quad (7)$$

onde:

M = custos de manutenção anual (R\$/km.ano);

N = nivelamento anual da estrada, correções realizadas na superfície (R\$/km.ano);

LM = roçada anual do excesso de vegetação (R\$/km.ano);

DM_{re} = reconstrução anual de camalhões, saídas de água e limpeza nas caixas de contenção (R\$/km.ano);

Os sistemas Ortogonal 1 e 2 possuem o mesmo custo de manutenção. As redes viárias Readequada 2 e Nível também têm os mesmos custos de manutenção anual.

3.2.7 Estimativa do custo anual de oportunidade da terra

Adotou-se como necessidade mínima uma estrada de 6 m de largura, em razão da exigência de rede viária no reflorestamento de eucaliptos. Portanto, para as estradas florestais de 6 m de largura, não foi considerado o custo de oportunidade da terra.

Para estradas com 8 m e 10 m de largura, foi considerado como custo de oportunidade da terra a diferença de área utilizada em relação às estradas de 6 m. Para a determinação deste custo, estimou-se a redução potencial de produção de madeira, quando se considera estradas maiores que 6 m, dado pela Equação 8.

$$Cot = A \times V_p \quad (8)$$

onde:

Cot = custo anual de oportunidade da terra (R\$/ha.ano);

A = redução de área útil de plantio para estradas de 8 e 10 m, em relação à estrada de 6 m (ha).

V_p = valor anual de produção da madeira (R\$/ha.ano).

3.2.8 Estimativa do custo anual de oportunidade do capital investido na construção

Segundo USDA (2001), o custo de oportunidade do capital é dado pela Equação 9:

$$Coc = \frac{(Vi + Vf)}{2} \cdot i \quad (9)$$

onde:

Coc = custo anual de oportunidade do capital (R\$/km.ano);

V_i = valor de investimento inicial (ou de construção) (R\$/km);

V_f = valor final do investimento (R\$/km);

i = taxa de juros (10% a.a.).

No caso de construção de estradas, não se considera o valor residual (V_f), portanto a equação utilizada para este estudo foi a Equação 10.

$$Coc = \frac{Vi}{2} \cdot i, \text{ (para Vf = 0)} \quad (10)$$

Nas condições atuais de mercado, considerou-se a taxa de juros de 10 % ao ano.

3.2.9 Estimativa dos custos anuais das estradas

Adotou-se a metodologia desenvolvida por Machado (2002), porém foram adaptados para este estudo, os critérios das estimativas dos custos de depreciação e do custo de oportunidade da terra. Os custos anuais de estradas foram estimados como na Equação 11:

$$E = D + M + Cot + Coc \quad (11)$$

em que:

E = custo anual de estrada (R\$/km.ano);

D = depreciação anual (R\$/km.ano);

M = custo anual de manutenção (R\$/km.ano);

Cot = custo anual de oportunidade da terra (R\$/km.ano);

Coc = custo anual de oportunidade do capital empregado na construção da estrada (R\$/km.ano).

3.2.10 Estimativa do *payback*

Adotou-se neste caso, a metodologia descrita por Gitman (2001), o cálculo do *payback* simples e econômico para verificar em qual dos sistemas de redes viárias o capital empregado tem menor tempo de retorno do investimento inicial, devido à diferença nos custos de manutenção (Equação 12).

$$t, \text{ tal que } (-C) + \sum_{t=0}^n \frac{EM_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (12)$$

onde:

C = custo de construção (R\$/km);

EM = economia anual nos custos de manutenção (R\$/km.ano);

i = taxa de desconto aplicada por período;

n = número de períodos (anos);

t = t-ésimo período.

O PBS (período de *payback* simples) é determinado da mesma forma, mas sem remuneração dos fluxos de caixa, Equação 13.

$$t, \text{ tal que } (-C) + \sum_{t=0}^n EM_t = 0 \quad (13)$$

onde:

C = custo de construção (R\$/km);

EM = economia anual nos custos de manutenção (R\$/km.ano);

n = número de períodos (anos);

t = t-ésimo período.

3.2.11 Estimativa do valor presente líquido

Adotou-se neste caso, a metodologia descrita por Gitman (2001), que identifica em qual sistema de rede viária haverá um menor custo em vinte e um anos, tempo de duração das estradas considerado para esta estimativa (Equação 14).

$$CA = C + \sum_{t=1}^n \frac{M}{(1+i)^t} \quad (14)$$

onde:

CA = custo atual do projeto (R\$/km);

C = custo de construção (R\$/km);

M = custo anual de manutenção (R\$/km.ano);

i = taxa de desconto aplicada por período (10 % a.a.);

n = número de períodos (21 anos);

t = t-ésimo período.

3.2.12 Sistema de informações geográficas: GRASS

Para a digitalização de imagens foi adotada a mesma metodologia utilizada por Antonangelo (2004), Apêndice 1, do programa computacional de sistema de informações geográficas GRASS.

Assim, com o sistema de informações geográficas, usando o programa computacional GRASS, o mapa da propriedade rural foi atualizado sendo refeita a digitalização, houve modificações nos trajetos da rede viária e na área de proteção permanente criando-se corredores de fauna.

Todo o processo de utilização do GRASS foi desenvolvido no *Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre* da *Albert-Ludwigs-Universität*, em Freiburg, na Alemanha, um dos principais países do mundo em termos de utilização de *software* livre e do SIG GRASS. No trabalho, foi utilizado um computador com sistema operacional GNU/LINUX distribuição SUSE 9.2, SIG GRASS versão 5.4 e versão 6.0 e toda a infraestrutura e apoio técnico da equipe de profissionais da referida universidade.

3.2.13 Programa estatístico R

Para a obtenção das características principais da rede viária ortogonal e em nível existente na propriedade rural, como: comprimento, greide, fator topográfico LS e identificação das estradas, foi realizado um trabalho conjunto através dos programas computacionais GRASS e R (*R-Statistics*).

A linguagem de programação AWK, é uma linguagem ao estilo da linguagem “C”, podendo ser gravados os programas em AWK na forma de arquivos de texto.

No programa R, uma rotina em linguagem AWK foi utilizada com o objetivo de ordenar cada estrada exportada pelo GRASS no sentido correto, localizando o seu primeiro e último pontos e corrigindo, assim, problemas de resolução que distorcem sua correta seqüência.

Uma programação (APÊNDICE 2) adotada e executada no programa R cria um arquivo em formato “ASCII” (código numérico usado para representar os caracteres,

entendido por quase todos os computadores, impressoras e programas de edição de texto) com todas as informações necessárias e processadas para cada rampa de estrada.

Desse arquivo foram extraídos os dados para a parcela de estradas estudadas e percorridas, relacionando com o número de camalhões observados para cada rampa de estrada, da rede viária ortogonal (APÊNDICE 3) e da rede viária em nível (APÊNDICE 4).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características das redes viárias

As áreas onde estão implantadas as redes viárias, ortogonal e em nível, possuem altitudes máximas, mínimas, médias e amplitudes altimétricas semelhantes, portanto as caracterizações do relevo e de solo foram similares.

Enquanto a rede viária ortogonal está implantada numa área de 7.680 ha, a rede viária em nível ocupa uma área de 4.229 ha. Assim a rede viária ortogonal possui 3.451 ha a mais do que a rede viária em nível. Para ambas as áreas já estão incluídas as áreas de proteção permanente (QUADRO 1).

Quadro 1: Características das áreas que se encontram as redes viárias.

Descrição	Ortogonal	Em nível	Total
Área (ha)	7.680	4.229	11.909
Altitude máxima (m)	760	765	-
Altitude mínima (m)	604	624	-
Altitude média (m)	682	694	-
Amplitude altimétrica (m)	156	141	-

Observa-se na Figura 16 a disposição das estradas nas redes viárias, conforme a classificação de estradas descrita na metodologia.

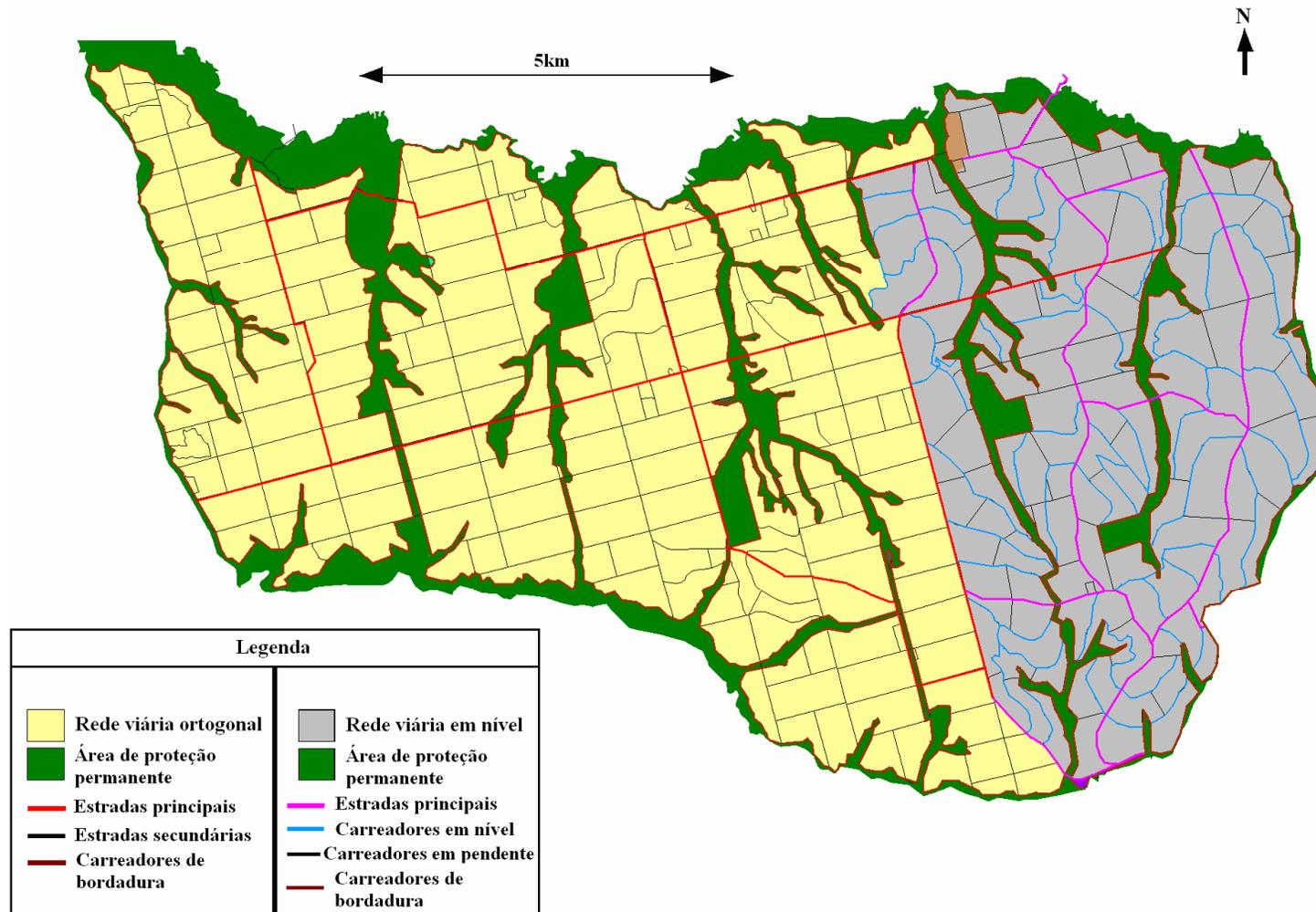


Figura 16: Localização das estradas nas redes viárias, ortogonal e em nível.

Fonte: Mapa digitalizado com base nos dados fornecidos pela empresa.

A densidade de estradas florestais da rede viária ortogonal foi de 43,12 m.ha⁻¹, enquanto que a rede viária em nível apresentou uma maior densidade, que foi de 49,71 m.ha⁻¹, superior em 6,59 m/ha. (FIGURA 17).

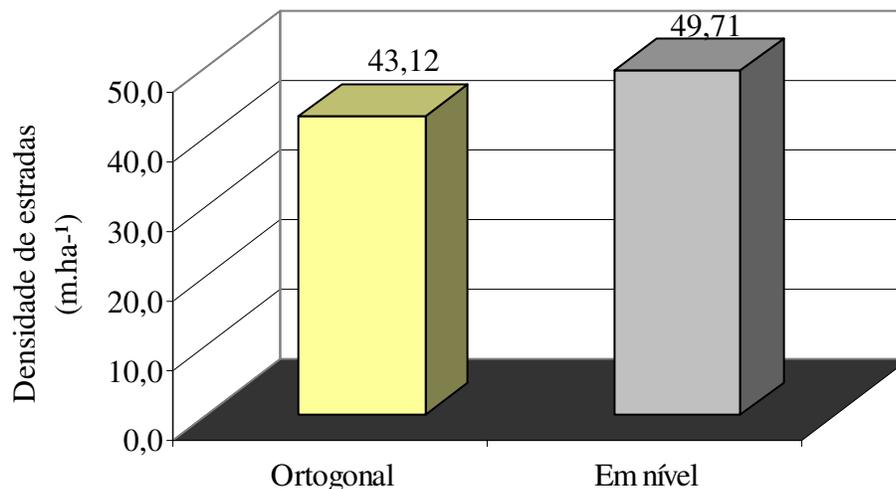


Figura 17: Densidade de estradas das redes viárias.

A rede viária ortogonal possui 331,18 km de estradas, distribuídos entre estradas principais, secundárias e carregadores de bordadura. A rede viária em nível possui 210,22 km de estradas distribuídos entre estradas principais, carregadores em nível, carregadores em pendente e de bordadura (QUADRO 2).

A área utilizada para a construção da rede viária ortogonal foi de 270,32 ha e a área correspondente à construção da rede viária em nível foi de 132,20 ha. Portanto, a rede viária ortogonal é maior que a rede viária em nível em 120,96 km de extensão de estradas florestais, que resulta numa área maior de 138,30 ha utilizada pela rede viária ortogonal, praticamente duas vezes a mais que a área onde está localizada a rede viária em nível.

Quadro 2: Características dimensionais das redes viárias.

Rede viária	Comprimento (km)	Largura (m)	Área (ha)
Ortogonal			
Estradas principais	33,38	10	33,38
Estradas secundárias	145,65	10	145,65
Carreadores de bordadura	152,15	6	91,29
Total	331,18		270,32
Em nível			
Estradas principais	29,42	8	23,54
Carreadores em nível	77,43	6	46,46
Carreadores em pendente	31,64	6	18,98
Carreadores de bordadura	71,73	6	43,04
Total	210,22		132,02
TOTAL	541,40		402,34

Observam-se na Figura 18 as porcentagens das estradas classificadas conforme a rede viária. A rede viária ortogonal está distribuída em estradas principais, secundárias e carreadores de bordadura, apresentando 10,1 %, 44,0 % e 45,9 %, respectivamente, enquanto que a rede viária em nível está distribuída em estradas principais, carreadores em nível, em pendente e de bordadura, com 14,0 %, 36,8 %, 15,1 % e 34,1 %, respectivamente.

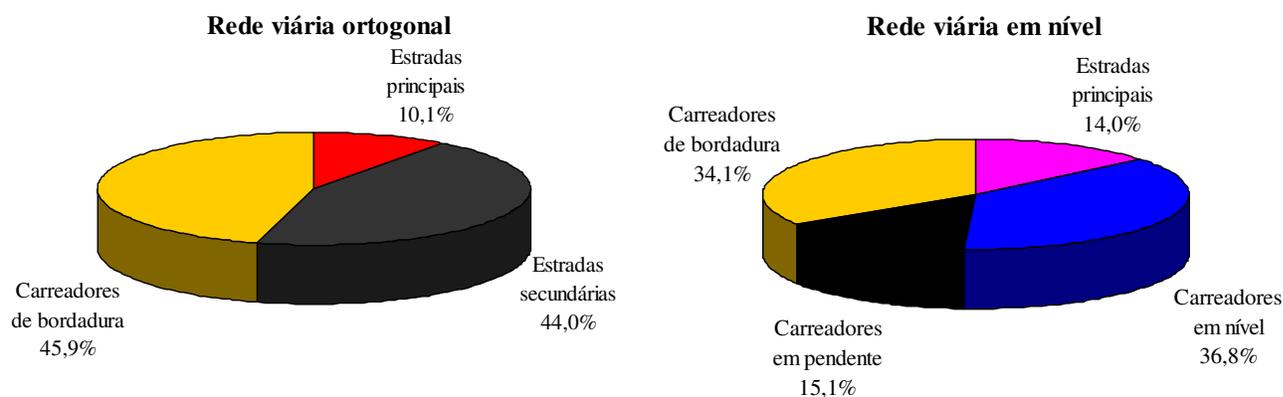


Figura 18: Porcentagem das estradas classificadas da rede viária ortogonal e em nível.

As estradas da rede viária ortogonal caracterizam-se pelas rampas longas e retas, conforme se pode ver na Figura 19.



Figura 19: Estradas principal e secundária da rede viária ortogonal.

São apresentadas na Figura 20, a estrada principal, o carreador em nível e os carreadores em pendente da rede viária em nível.



Figura 20: Estradas da rede viária em nível.

Na Figura 21 são apresentadas as estradas atuais e as estradas ortogonais que foram eliminadas para a implantação da rede viária em nível. As estradas que foram eliminadas (sistema de rede viária Ortogonal 2) possuíam um total de 71 km de comprimento, com 10 m de largura, atingindo uma área de estradas construídas de 71 ha, que foi reformada, e atualmente esta área está destinada ao plantio de eucaliptos.

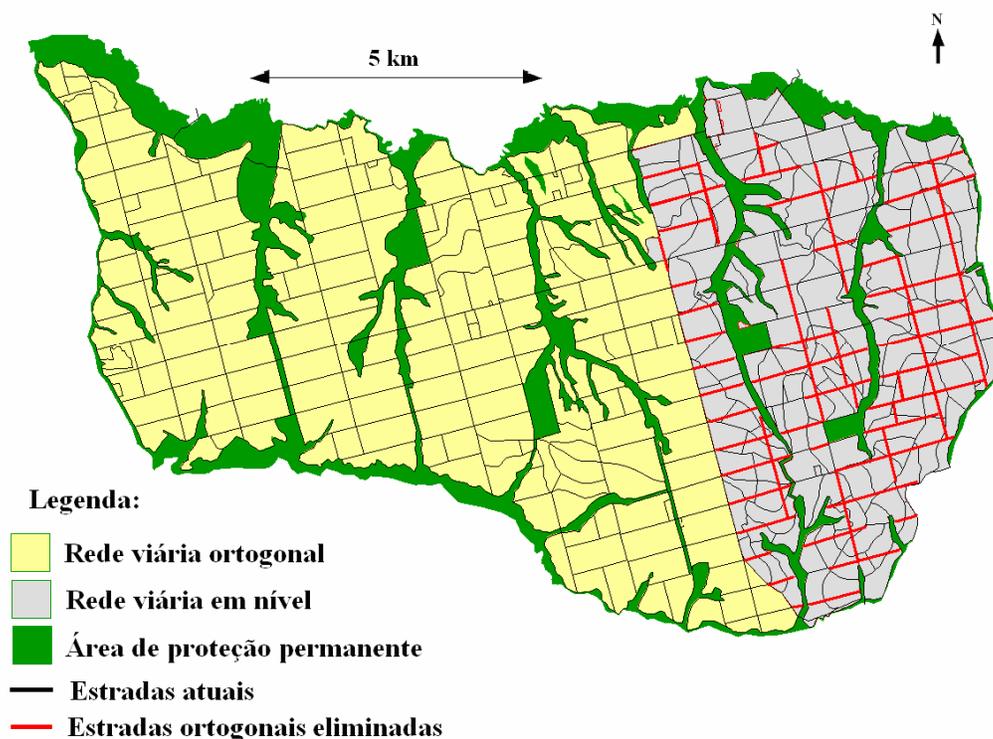


Figura 21: Estradas atuais e estradas ortogonais eliminadas.

4.2 Sistema de drenagem

4.2.1 Distância entre camalhões observados em campo

Foram percorridos 52,46 km de estradas. Nas estradas da rede viária ortogonal foram encontrados 204 camalhões em 27,18 km e na rede viária em nível foram encontrados apenas 79 camalhões em 25,27 km, estes principalmente nos carregadores em pendente.

O número de camalhões encontrados nas rampas das estradas foi distribuído em classes de greide, portanto a distância entre camalhões nas redes viária ortogonal e em nível é apresentada no Quadro 3. Na rede viária ortogonal percorrida não havia trechos de estradas com greide entre 10 a 12 %.

Quadro 3: Distância entre camalhões conforme o greide da estrada.

Greide (%)	Distância entre camalhões (m)	
	Ortogonal	Em nível
0-2	597	2315
2-4	140	453
4-6	102	225
6-8	65	94
8-10	64	107
10-12	-	103

Observa-se na Figura 22, que a curva de distância entre camalhões na rede viária em nível ficou visivelmente acima da curva da rede viária ortogonal, ou seja, houve a necessidade de se construir um maior número de camalhões na rede viária ortogonal para o sistema de rede de drenagem das estradas, portanto a rede viária em nível apresentou uma distância entre camalhões maior do que na rede viária ortogonal, ou seja, foi necessário menor número de camalhões por km.

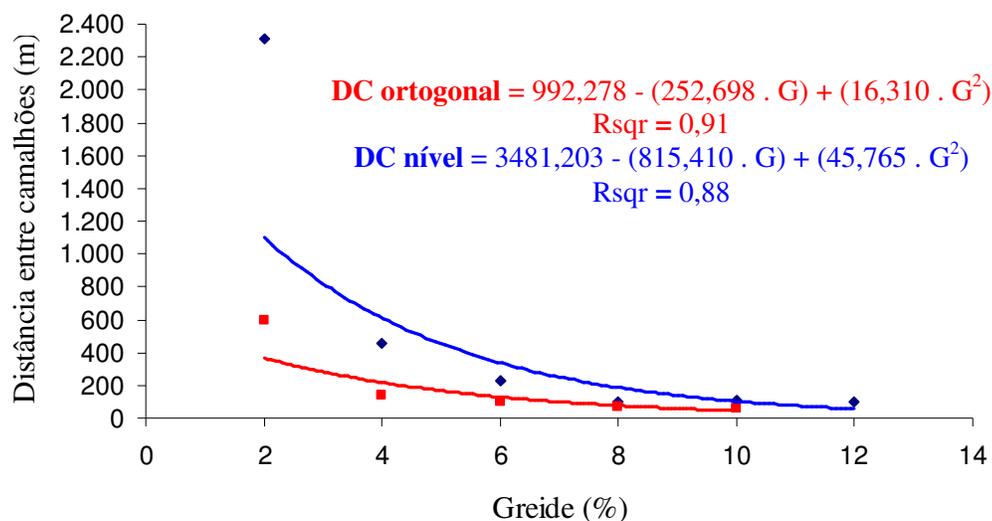


Figura 22: Distância entre camalhões (DC) existentes na rede viária ortogonal e em nível, em função do greide (G) e da área considerada em campo.

4.2.2 Distância entre camalhões no modelo teórico para fator topográfico LS igual a 1

Machado e Silva (2001) classificaram a distância entre camalhões em função do greide da estrada. Definiram uma distância mínima de 30 m entre camalhões, pois com distâncias menores poderia ocasionar o risco de avarias nos eixos dos veículos de transporte de madeira.

Quando se aplica valor exatamente igual a 1, a participação do fator topográfico LS é nula (na equação da perda de solo – Equação 1). Porém, quando valores maiores que 1 são aplicados, verifica-se que o valor resultante é ampliado, mostrando a participação do relevo cada vez maior na aceleração do processo de perda de solo em função do aumento do valor do fator topográfico LS.

Portanto, para manter o fator topográfico LS igual a 1, é apresentado no Quadro 4 a classificação da distância entre camalhões para uma determinado greide da estrada.

Quadro 4: Distância entre camalhões, para manter um fator topográfico LS igual 1 segundo o greide da estrada.

Greide (%)	Distância entre camalhões (m)
0,0 a 3,0	600
3,0 a 4,8	150
4,8 a 5,6	90
5,6 a 6,1	70
6,1 a 6,4	60
6,4 a 6,8	50
6,8 a 7,4	40
7,4 a 8,1	30

Constam graficamente na Figura 23, a distância entre camalhões para o greide e fator topográfico LS da rampa da estrada.

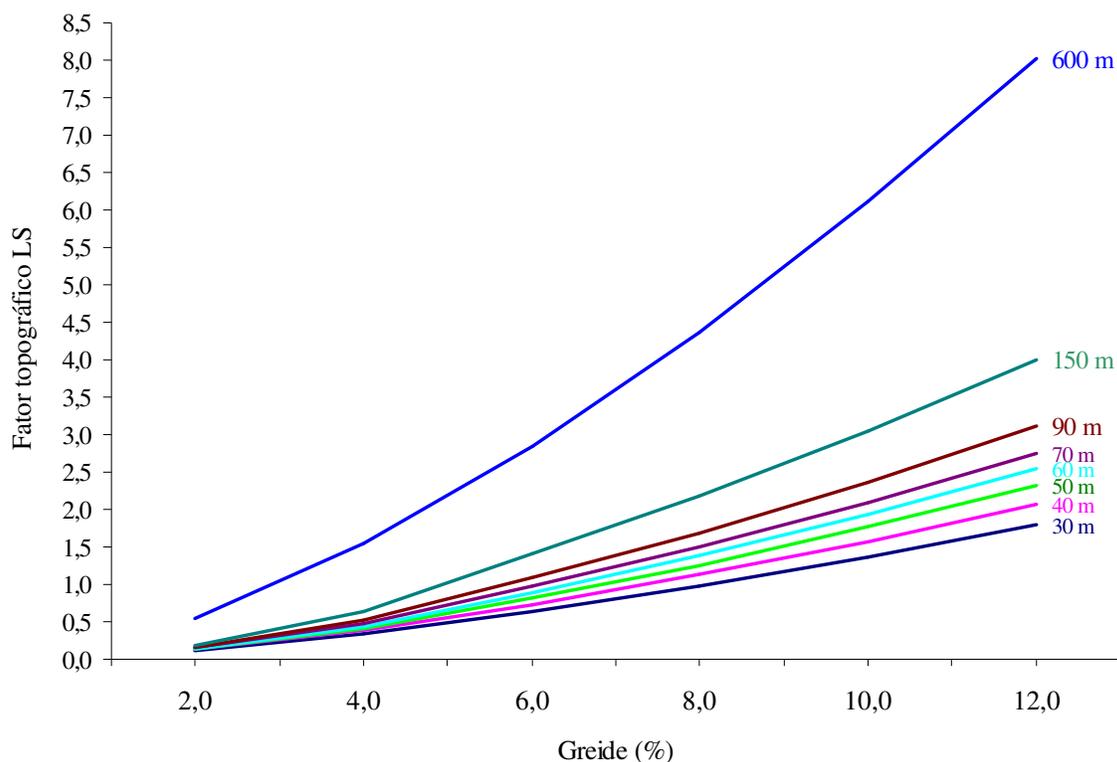


Figura 23: Distância entre camalhões, segundo o greide e o fator topográfico LS da rampa da estrada.

Para um greide da estrada de 8 % e fator topográfico LS igual a 1, a distância mínima entre camalhões é de 30 m. Acima deste valor, o fator topográfico é maior que 1 tendo assim um maior risco de erosão.

Apesar de o estudo ter sido realizado em redes de estradas florestais, considerando a similaridade entre as estradas não pavimentadas, o modelo teórico de distância entre camalhões também pode ser utilizado em estradas destinadas aos mais diversos usos públicos e privados.

4.2.3 Número de camalhões observados e calculados

Na rede viária ortogonal foram encontrados camalhões tanto nas estradas principais quanto nas secundárias. Já na rede viária em nível havia camalhões principalmente nos carregadores em pendente.

Observou-se que no campo havia maior número de camalhões na rede viária ortogonal do que na rede viária em nível (QUADRO 5). Na rede viária ortogonal foram observados 7,5 camalhões por km, entretanto pelo valor calculado verificou-se que havia a necessidade de apenas 4,9 camalhões por km para manter fator topográfico LS igual a 1. Isto resultaria em uma economia de 2,6 camalhões por km de estrada.

Já na rede viária em nível foram encontrados 3,1 camalhões por km, sendo que pelo valor calculado verificou-se que havia necessidade de 5,7 camalhões por km para manter fator topográfico igual a 1. Desta forma verificou-se que seria necessária a construção de mais 2,6 camalhões por km de estrada.

Quadro 5: Número de camalhões da rede viária ortogonal e em nível.

Rede viária	Camalhões por km	
	Observado	Calculado para fator topográfico LS=1
Ortogonal*	7,5	4,9
Em nível*	3,1	5,7

*Apêndice 3 e Apêndice 4.

Estes resultados confirmam que as duas redes viárias não foram implantadas com o adequado planejamento e com o número de camalhões em função do risco de erosão.

4.2.4 Estimativa do número de camalhões

O número de camalhões por km em função do greide, para um fator topográfico LS igual a 1, pode ser estimado pela equação apresentada no Quadro 6.

Quadro 6: Equação para estimar o número de camalhões por km para manter fator topográfico LS igual a 1 em função do greide.

Equação para estimar o número de camalhões por km	R ²
*NC = -9,782 + 4,72. G	0,86

*NC - número de camalhões; G - greide (%).

O coeficiente de determinação, R², resultou em 0,86, ou seja cerca de 14% dos resultados não podem ser explicados por este modelo. Esta função estatística foi determinada pelo método de regressão linear.

4.3 Custos de construção

Juntamente com o cálculo do número de camalhões por km de estrada, também foram estimados os custos de estradas das redes viárias florestais Ortogonal 1 e 2, Readequada 1 e 2 e Nível. Os custos operacionais das máquinas utilizadas na construção e manutenção de estradas estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7: Custos operacionais das máquinas utilizadas na construção de estradas.

Máquinas	Unidade	Custos operacionais
Motoniveladora	R\$/h	120,00
Trator pesado + compactador	R\$/h	60,00
Trator pesado + subsolador	R\$/h	110,00
Trator médio + adubadora	R\$/h	60,00
Retroescavadora	R\$/h	60,00
Carregador florestal	R\$/h	80,00
Caminhão basculante rodado	R\$/km	1,50
Caminhão tanque	R\$/h	43,00

Fonte: Dados fornecidos pela empresa.

Nas redes viárias Ortogonal 1 e 2 os custos de construção são os mesmos, são formados pelos custos de topografia, limpeza, terraplenagem, drenagem e revestimento (QUADRO 8).

Quadro 8: Custo de construção das redes viárias Ortogonal 1 e 2.

Classes de estradas	Extensão por km da rede viária (m/km)	Custo de construção (R\$/km)					Total
		Topografia	Limpeza	Terraplenagem	Drenagem	Revestimento	
Estradas principais	100,79	71,43	120,00	3.360,00	1.350,00	30.000,00	34.901,43
Estradas secundárias	439,79	71,43	120,00	3.360,00	1.350,00	0,00	4.901,43
Carr. de bordadura	459,42	166,00	48,00	0,00	0,00	0,00	214,00
Ortogonal 1 e 2	1.000,00	114,88	86,92	1.816,35	729,78	3.023,70	5.771,98

Os custos de construção das redes viárias Ortogonal 1 e 2 somam R\$ 5.771,98. Os maiores custos de construção da estrada devem-se ao revestimento seguido por terraplenagem, drenagem, topografia e limpeza.

As estradas principais foram as que apresentaram maior custo, de R\$ 34.901,43/km, devido ao custo de revestimento (cascalho e frete). A jazida de cascalho encontra-se a 70 km de distância, elevando consideravelmente o custo do frete. As estradas secundárias tiveram um custo de R\$ 4.901,43/km enquanto que os carregadores de bordadura apresentaram R\$ 214,00/km.

O custo de construção da rede viária Readequada 1 é composto pelos custos de topografia, reforma, limpeza, terraplenagem, drenagem e revestimento que somam R\$ 8.410,05 (QUADRO 9). Desta forma, os maiores custos de construção da estrada foram no revestimento seguido por limpeza, terraplenagem, drenagem, reforma e topografia.

Quadro 9: Custo de construção da rede viária Readequada 1.

Classes de estradas	Extensão por km da rede viária (m/km)	Custo de construção (R\$/km)						Total
		Topografia	Reforma	Limpeza	Terraplenagem	Drenagem	Revestimento	
Estradas principais	139,95	100,00	269,17	3.970,00	3.180,00	0,00	24.000,00	31.519,17
Carr. em nível	368,33	250,00	269,17	3.250,00	2.700,00	1.115,00	0,00	7.584,17
Carr. em pendente	150,51	100,00	269,17	1.985,00	2.700,00	1.860,00	0,00	6.914,17
Carr. de bordadura	341,21	166,00	269,17	48,00	0,00	0,00	0,00	483,17
Readequada 1	1.000,00	177,77	269,17	2.067,81	1.845,91	690,64	3.358,80	8.410,05

Na rede viária Readequada 1, as estradas principais apresentaram o maior custo devido também ao custo de revestimento semelhante à rede viária ortogonal. Os carreadores em pendente tiveram um custo de R\$ 6.914,17/km, os carreadores em nível apresentaram um custo de R\$ 7.584,17/km, enquanto que os carreadores de bordadura apresentaram um custo de R\$ 483,17/km.

Quadro 10: Custo de construção da rede viária Readequada 2.

Classes de estradas	Extensão por km da rede viária (m/km)	Custo de construção (R\$/km)						Total
		Topografia	Reforma	Limpeza	Terraplenagem	Drenagem	Revestimento	
Estradas principais	139,95	100,00	269,17	3.970,00	3.180,00	0,00	24.000,00	31.519,17
Carr. em nível	368,33	250,00	269,17	3.250,00	2.700,00	1.115,00	0,00	7.584,17
Carr. em pendente	150,51	100,00	269,17	1.985,00	2.700,00	3.420,00	0,00	8.474,17
Carr. de bordadura	341,21	166,00	269,17	48,00	0,00	0,00	0,00	483,17
Readequada 2	1.000,00	177,77	269,17	2.067,81	1.845,91	925,43	3.358,80	8.644,84

O custo de construção da rede viária Readequada 2 é composto pelos custos de topografia, reforma, limpeza, terraplenagem, drenagem e revestimento que somam

R\$ 8.644,84 (QUADRO 10). Desta forma, os maiores custos de construção da estrada foram no revestimento seguido por limpeza, terraplenagem, drenagem, reforma e topografia.

O custo de reforma do custo de construção da rede viária Readequada 1 e 2 foi devido à descompactação e adubação da área de 71 ha das estradas ortogonais reformadas em área de plantio de eucaliptos. O custo de reforma foi de R\$ 797,00/ha, sendo R\$ 220,00/ha devido à descompactação e R\$ 577,00/ha atribuídos à adubação de primeira cobertura, segunda e terceira adubação por ha reformado, para os devidos cálculos foi utilizado o custo de reforma por km no valor de R\$ 269,17.

Quadro 11: Custo de construção da rede viária Nível.

Classes de estradas	Extensão por km da rede viária (m/km)	Custo de construção (R\$/km)					Total
		Topografia	Limpeza	Terraplenagem	Drenagem	Revestimento	
Estradas principais	139,95	100,00	60,00	3.180,00	0,00	24.000,00	27.340,00
Carr. em nível	368,33	250,00	48,00	2.700,00	1.115,00	0,00	4.113,00
Carr. em pendente	150,51	100,00	48,00	2.700,00	3.420,00	0,00	6.268,00
Carr. de bordadura	341,21	166,00	48,00	0,00	0,00	0,00	214,00
Nível	1.000,00	177,77	49,68	1.845,91	925,43	3.358,80	6.357,54

O custo de construção da rede viária Nível é composto pelos custos de topografia, limpeza, terraplenagem, drenagem e revestimento que somam R\$ 6.357,54 (QUADRO 11). Portanto, os maiores custos de construção da estrada foram no revestimento seguido por terraplenagem, drenagem, topografia e limpeza.

4.4 Depreciação dos sistemas de redes viárias florestais

Na rede viária Ortogonal 2, foi considerada a vida útil real das estradas de vinte e um anos adotando-se o método de depreciação linear (1973-1994).

Na rede viária Ortogonal 1, considerou-se o método de depreciação com saldo decrescente, pois a rede de estradas já possui trinta e quatro anos de vida e ainda está sendo utilizada normalmente.

Quadro 12: Depreciação anual da rede viária Ortogonal 1 (pelo método linear) e Ortogonal 2 (pelo saldo decrescente).

Depreciação (ano)	Ortogonal 2 (método linear) (R\$/km.ano)	Ortogonal 1 (saldo decrescente) (R\$/km.ano)
1	274,86	288,60
2	274,86	274,17
3	274,86	260,46
4	274,86	247,44
5	274,86	235,07
6	274,86	223,31
7	274,86	212,15
8	274,86	201,54
9	274,86	191,46
10	274,86	181,89
11	274,86	172,79
12	274,86	164,16
13	274,86	155,95
14	274,86	148,15
15	274,86	140,74
16	274,86	133,71
17	274,86	127,02
18	274,86	120,67
19	274,86	114,64
20	274,86	108,90
21	274,86	103,46
:	-	:
34	-	53,11
Depreciação/Média	274,86	140,09

A rede viária Ortogonal 2 apresentou uma depreciação anual média de R\$ 274,86/km e a rede viária Ortogonal 1 de R\$ 140,09/km (QUADRO 12).

4.5 Custos de manutenção

Os custos de manutenção da drenagem são formados pela correção da superfície ou nivelamento, limpeza (roçada da vegetação) e drenagem (correções de camalhões, limpeza da caixa de contenção).

Os custos de manutenção das redes viárias Ortogonal 1 e 2 foram os mesmos. Nessas mesmas redes, a manutenção do nivelamento nas estradas principais ocorre três vezes ao ano e nas estradas secundárias uma vez ao ano devido o trânsito ser mais intenso somente em épocas de colheita.

Quadro 13: Custo anual de manutenção das redes viárias Ortogonal 1 e 2.

Classes de estradas	Extensão das classes de estrada por km de rede viária (m/km)	Custo de manutenção (R\$/km.ano)			
		Nivelamento	Limpeza	Drenagem	Total
Estradas principais	100,79	144,00	0,00	450,00	594,00
Estradas secundárias	439,79	48,00	90,00	450,00	588,00
Carr. de bordadura	459,42	0,00	90,00	0,00	90,00
Ortogonal 1 e 2	1.000,00	35,62	80,93	243,26	359,81

O custo anual de manutenção da rede viária Ortogonal 1 e 2 somam R\$ 359,81 (QUADRO 13). Portanto, os maiores custos de manutenção das estradas foram no sistema de drenagem seguidos pela limpeza e nivelamento.

Quadro 14: Custo anual de manutenção da rede viária Readequada 1.

Classes de estradas	Extensão das classes de estrada por km de rede viária (m/km)	Custo de manutenção (R\$/km.ano)			
		Nivelamento	Limpeza	Drenagem	Total
Estradas principais	139,95	48,00	0,00	0,00	48,00
Carr. em nível	368,33	8,00	40,00	0,00	48,00
Carr. em pendente	150,51	8,00	40,00	93,00	141,00
Carr. de bordadura	341,21	0,00	40,00	0,00	40,00
Readequada 1	1.000,00	10,87	34,40	14,00	59,27

O custo anual de manutenção da rede viária Readequada 1 somam R\$ 59,27 (QUADRO 14). Portanto, os maiores custos de manutenção das estradas foram na limpeza, seguidos pelo sistema de drenagem e nivelamento.

Já o custo anual de manutenção da rede viária Readequada 2 e Nível foi de R\$ 71,01 (QUADRO 15). Desta forma, os maiores custos de manutenção das estradas foram na limpeza, seguidos pelo sistema de drenagem e nivelamento.

Quadro 15: Custo anual de manutenção das redes Readequada 2 e Nível.

Classes de estradas	Extensão das classes de estrada por km de rede viária (m/km)	Custo de manutenção (R\$/km.ano)			
		Nivelamento	Limpeza	Drenagem	Total
Estradas principais	139,95	48,00	0,00	0,00	48,00
Carr. em nível	368,33	8,00	40,00	0,00	48,00
Carr. em pendente	150,51	8,00	40,00	171,00	219,00
Carr. de bordadura	341,21	0,00	40,00	0,00	40,00
Readequada 2 e Nível	1.000,00	10,87	34,40	25,74	71,01

Nas redes viárias Readequada 1, Readequada 2 e Nível, os custos de manutenção apresentam-se mais baixos do que nas redes viárias Ortogonal 1 e 2. Nas estradas principais as correções de nivelamento são realizadas uma vez ao ano, enquanto que nos carregadores em nível e pendentes são realizados a cada seis anos depois da época de colheita.

A limpeza do excesso de vegetação é realizada nos carregadores em nível, pendentes e de bordadura, uma vez ao ano. Já a manutenção do sistema de drenagem é também realizada uma vez ao ano com a limpeza das caixas de contenção, com a máquina retroescavadora.

4.6 Custo de oportunidade do uso da terra

Para as estradas florestais de 6 m de largura não foi considerado o uso alternativo de oportunidade da terra em razão da necessidade de existência da rede viária no reflorestamento de eucaliptos. Já nas estradas com 8 m e 10 m de largura foram considerados

para efeito de custo de oportunidade de terra, a perda de área de produção de madeira em relação à diferença da área para as estradas com 6 m de largura.

Observa-se no Quadro 16, o custo de oportunidade da terra para cada rede viária de estrada, adotando-se uma média de produção de madeira na região de 40 m³/ha.ano e com um retorno médio (madeira em pé) de R\$ 25,00/m³, tendo um rendimento médio de R\$ 1.000,00/ha.ano.

Quadro 16: Custo anual de oportunidade da terra das redes viárias Ortogonal 1 e 2.

Classes de estradas	Extensão das classes de estrada por km de rede viária (m/km)	Largura excedente (m)	Custo de oportunidade da terra (R\$/km.ano)			
			Perda de área (ha/km)	Média da produção (m ³ /ha)	Retorno médio (R\$/m ³)	Total
Estradas principais	100,79	4,00	0,40	40,00	25,00	400,00
Estradas secundárias	439,79	4,00	0,40	40,00	25,00	400,00
Carr. de bordadura	459,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ortogonal 1 e 2	1.000,00	2,16	0,22	21,62	13,51	63,19

Devido à largura das estradas, as redes viárias Ortogonal 1 e 2 obtiveram os mesmos custo de oportunidade da terra. As redes viárias Ortogonal 1 e 2 apresentaram um custo de oportunidade da terra de R\$ 63,19/km.ano, pois possuem estradas mais largas.

As redes viárias Nível, Readequada 1 e 2, também apresentaram os mesmos custos de oportunidade da terra entre si que foi de R\$ 27,99/km.ano (QUADRO 17).

Quadro 17: Custo anual de oportunidade da terra das redes viárias Nível, Readequada 1 e 2.

Classes de estradas	Extensão das classes de estrada por km de rede viária (m/km)	Largura excedente (m)	Custo de oportunidade da terra (R\$/km.ano)			Total
			Perda de área (ha/km)	Média da produção (m³/ha)	Retorno médio (R\$/m³)	
Estradas principais	139,95	2,00	0,20	40,00	25,00	200,00
Carr. em nível	368,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Carr. em pendente	150,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Carr. de bordadura	341,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nível, Readequada 1 e 2	1.000,00	0,28	0,03	5,60	3,50	27,99

4.7 Custo de oportunidade do capital investido na construção

No Quadro 18, Quadro 19, Quadro 20 e Quadro 21, são apresentados os custos de oportunidade do capital investido na construção das redes viárias Ortogonais 1, Ortogonal 2, Readequada 1, Readequada 2 e Nível, em reais por km ao ano.

As redes viárias Ortogonal 1 e 2 apresentaram o mesmo custo de R\$ 288,60/km.ano. As classes de estradas que apresentaram o maior custo de oportunidade de capital foram as estradas principais, seguida pelas estradas secundárias e carreadores de bordadura (QUADRO 18).

Quadro 18: Custo anual de oportunidade do capital das redes viárias Ortogonal 1 e 2.

Classes de estradas	Extensão das classes de estrada por km de rede viária (m/km)	Custo de construção (R\$/km)	Custo de oportunidade do capital (R\$/km.ano)
Estradas principais	100,79	34.901,43	1.745,07
Estradas secundárias	439,79	4.901,43	245,07
Carr. de bordadura	459,42	214,00	10,70
Ortogonal 1 e 2	1.000,00	5.771,98	288,60

A rede viária Readequada 1 teve um custo de R\$ 420,50/km.ano. As classes de estradas que apresentaram o maior custo de oportunidade de capital foram as

estradas principais, seguida pelos carreadores em nível, em pendente e de bordadura (QUADRO 19).

Quadro 19: Custo anual de oportunidade do capital da rede viária Readequada 1.

Classes de estradas	Extensão das classes de estrada por km de rede viária (m/km)	Custo de construção (R\$/km)	Custo de oportunidade do capital (R\$/km.ano)
Estradas principais	139,95	31.519,17	1.575,96
Carr. em nível	368,33	7.584,17	379,21
Carr. em pendente	150,51	6.914,17	345,71
Carr. de bordadura	341,21	483,17	24,16
Readequada 1	1.000,00	8.410,05	420,50

Na rede viária Readequada 2, o custo de oportunidade de capital foi de R\$ 432,24/km.ano. As classes de estradas que apresentaram o maior custo de oportunidade de capital foram as estradas principais, seguida pelos carreadores em pendente, em nível e de bordadura (QUADRO 20).

Quadro 20: Custo anual de oportunidade do capital da rede viária Readequada 2.

Classes de estradas	Extensão das classes de estrada por km de rede viária (m/km)	Custo de construção (R\$/km)	Custo de oportunidade do capital (R\$/km.ano)
Estradas principais	139,95	31.519,17	1.575,96
Carr. em nível	368,33	7.584,17	379,21
Carr. em pendente	150,51	8.474,17	423,71
Carr. de bordadura	341,21	483,17	24,16
Readequada 2	1.000,00	8.644,84	432,24

Desta forma, na rede viária Nível, o custo de oportunidade de capital foi de R\$ 317,88/km.ano. As classes de estradas que apresentaram o maior custo de oportunidade de capital foram as estradas principais, seguida pelos carreadores em pendente, em nível e de bordadura (QUADRO 21).

Quadro 21: Custo anual de oportunidade do capital da rede viária Nível.

Classes de estradas	Extensão das classes de estrada por km de rede viária (m/km)	Custo de construção (R\$/km)	Custo de oportunidade do capital (R\$/km.ano)
Estradas principais	139,95	27.340,00	1.367,00
Carr. em nível	368,33	4.113,00	205,65
Carr. em pendente	150,51	6.268,00	313,40
Carr. de bordadura	341,21	214,00	10,70
Nível	1.000,00	6.357,54	317,88

4.8 Custos das estradas

Estimou-se o custo de estradas por km para cada sistema de rede viária de estradas florestais, somando-se a depreciação, o custo de manutenção, o custo de oportunidade da terra e do capital.

No Quadro 22, apresenta-se os custos de estradas anuais para cada sistema de rede viária florestal. As redes viárias Ortogonal 2, Ortogonal 1, Readequada 2, Readequada 1 e Nível apresentaram o valor dos custos de estradas anuais em ordem decrescente.

Verificou-se que as estradas com maior custo de construção foram a classe das estradas principais, para todos os sistemas de redes viárias. Estas estradas são as mais utilizadas durante todo o ano, possuindo tráfego intenso de veículos pesados.

Quadro 22: Custos anuais das estradas dos sistemas de rede viária florestal.

Rede viária	Custos de estradas (R\$/km.ano)				Total
	Depreciação	Manutenção	*CO Terra	*CO Capital	
Ortogonal 1	140,09	359,81	63,19	288,60	851,69
Ortogonal 2	274,86	359,81	63,19	288,60	986,46
Readequada 1	0,00	59,27	27,99	420,50	507,76
Readequada 2	0,00	71,01	27,99	432,24	531,24
Nível	0,00	71,01	27,99	317,88	416,88

*CO - Custo de oportunidade.

Os custos de estradas das redes viárias Ortogonal 1 e 2 foram maiores que os custos de estradas das redes viárias Readequada 1, Readequada 2 e Nível, uma vez que as maiores diferenças foram nos custos de manutenção, seguidos pelos custos de oportunidade da terra e a depreciação da estradas.

Os custos de oportunidade da terra são mais elevados nas redes viárias Ortogonal 1 e 2. Isto ocorreu devido ao fato de que as estradas principais e secundárias possuem 10 m de largura, por isso a área ocupada em hectares foi maior que nas redes viárias Readequada 1, Readequada 2 e Nível. Atualmente, adota-se a largura de 8 m para a estrada principal de qualquer sistema de rede viária florestal. Enquanto que os custos de manutenção mais elevados ocorreram nas redes viárias Ortogonal 1 e 2, pois não adotam a prática do abaulamento na construção das estradas, ocorrendo assim a necessidade de fazer mais manutenções na pista de rolamento durante o ano.

Nas redes viárias Ortogonal 1 e 2, os principais custos foram os custos de manutenção, seguidos pelos custos de oportunidade do capital e depreciação e por último, os custos de oportunidade da terra.

Nas redes viárias Readequada 1, Readequada 2 e Nível, os principais custos foram os custos de oportunidade de capital, seguidos pelos custos de manutenção e custo de oportunidade da terra. Os custos de oportunidade do capital mais elevados se devem ao maior investimento na construção dessas estradas, principalmente no sistema de drenagem, adotado nestes sistemas de redes viárias.

A Figura 24 expressa os custos anuais de estradas para os sistemas de redes viárias florestais, segundo cada item considerado na formação dos custos.

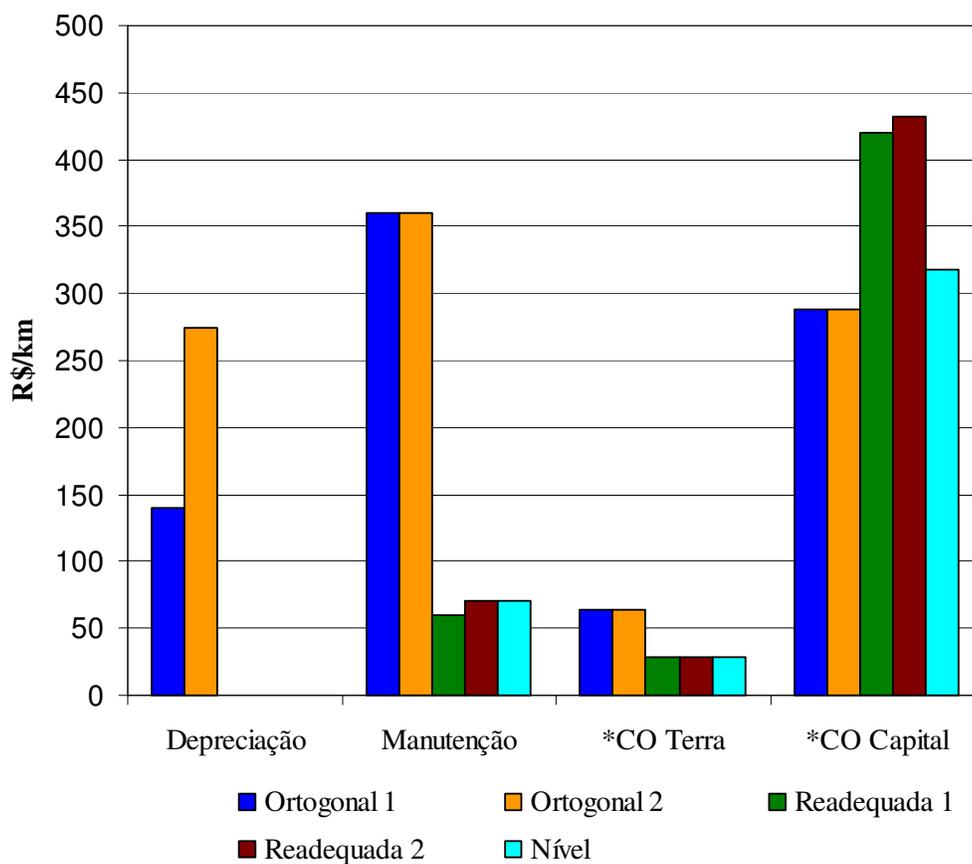


Figura 24: Formação dos custos anuais das estradas dos sistemas de redes viárias florestais.

*CO - Custo de oportunidade.

Na Figura 25 são apresentados os gráficos em porcentagem dos custos de estradas para cada sistema de rede viária. Na rede viária Ortogonal 1, os custos de oportunidade da terra, do capital, de manutenção e de depreciação foram 7,42 %, 33,89 %, 42,25 % e 16,45 %, respectivamente, enquanto na rede viária Ortogonal 2 os mesmos custos foram de 6,41 %, 29,26 %, 36,48 % e 27,86 %, respectivamente.

Na rede viária Readequada 1 as porcentagens dos custos foram de 11,67 %, 5,51 % e 82,82 %, de manutenção, custo de oportunidade da terra e do capital. Na rede viária Readequada 2 as porcentagens dos custos foram de 13,37 %, 5,27 % e 81,36 %, de manutenção, custo de oportunidade da terra e do capital, já na rede viária Nível os mesmos custos foram de 17,03 %, 6,71 % e 76,25 %, respectivamente.

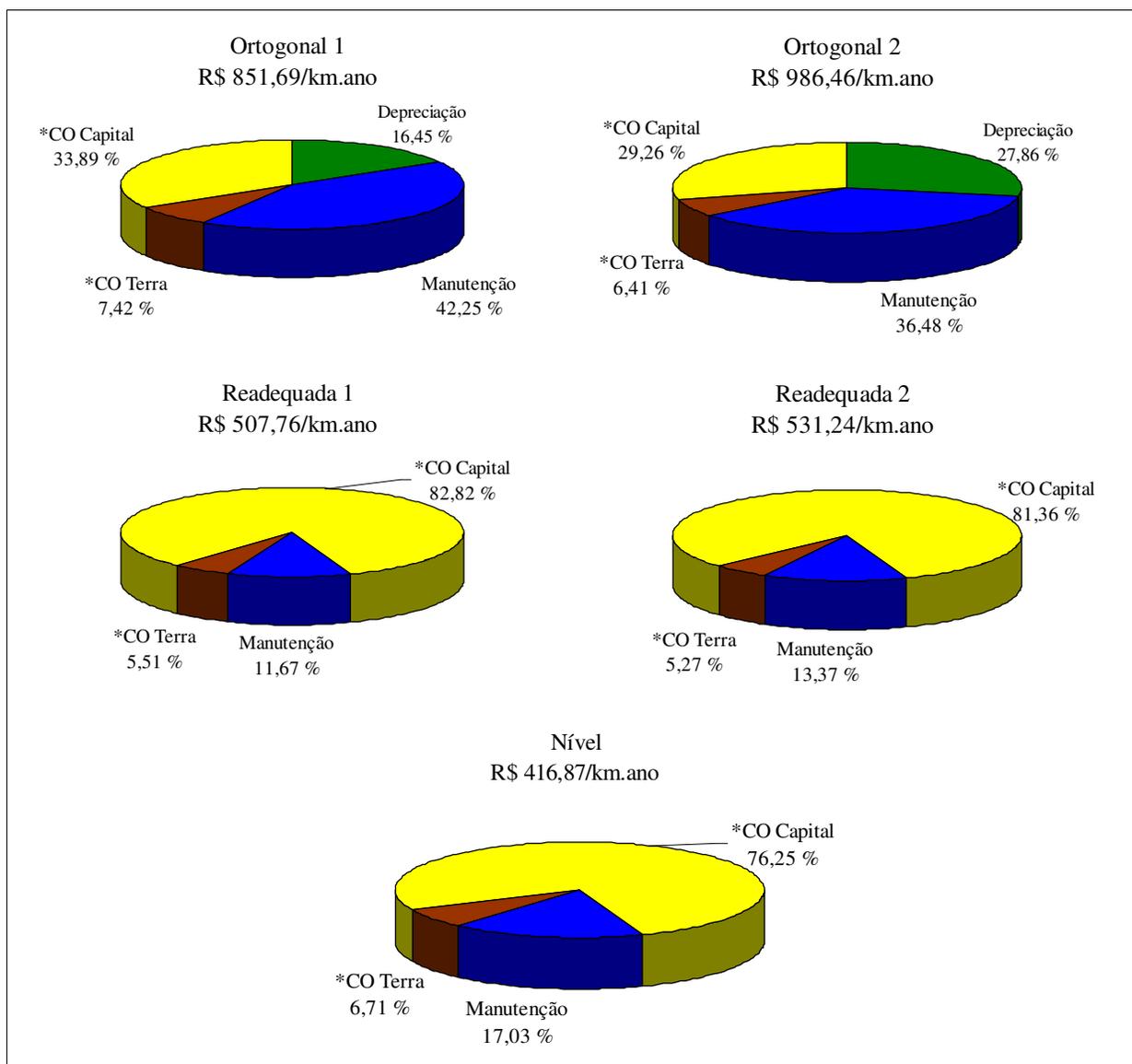


Figura 25: Custos anuais de estradas e suas respectivas porcentagens dos sistemas simulados de redes viárias florestais.

*CO - Custo de oportunidade.

No Quadro 23 é apresentado os custos de estradas por km e por hectare para cada sistema de rede viária florestal, conforme sua densidade de estradas.

Quadro 23: Custo anual de estrada por hectare para os sistemas de rede viária florestal.

Rede viária	Densidade de estradas (m/ha)	Custo (R\$/km.ano)	Custo (R\$/ha.ano)
Ortogonal 1	43,12	851,69	36,72
Ortogonal 2	43,12	986,46	42,54
Readequada 1	49,71	507,76	25,24
Readequada 2	49,71	531,24	26,41
Nível	49,71	416,87	20,72

A densidade de estradas das redes viárias Readequada 1, Readequada 2 e Nível é maior do que a Ortogonal 1 e 2 em 6,59 m/ha. Mesmo possuindo uma densidade maior, os custos de estradas por hectare se apresentaram menores devido ao custo de estrada por km das redes viárias Readequada 1, Readequada 2 e Nível serem inferiores do que as redes viárias Ortogonal 1 e 2.

4.9 Avaliação dos resultados econômicos

Para uma economia nos custos anuais de manutenção de estrada de R\$ 288,81/km.ano, diferença entre os custos de manutenção das redes viárias Ortogonal 1 e Readequada 2, o tempo de retorno do capital investido na construção de 1 km de estrada da rede viária Readequada 2 pelo método de *payback* simples seria de vinte e nove anos e onze meses (QUADRO 24).

Para o método do *payback* econômico não foi possível determinar o tempo de retorno, pois o custo de investimento na construção por km de estrada é elevado em relação à economia dos custos anuais de manutenção por km.

Quadro 24: Período de retorno do investimento da mudança da rede viária Ortogonal 1 para a rede viária Readequada 2.

Implantação da rede viária Readequada 2 (R\$/km)	
Investimento inicial	-8.644,84
Ano	Economia nos custos de manutenção (R\$/km.ano)
1	288,81
2	288,81
3	288,81
:	:
:	:
28	288,81
29	288,81
30	269,36
Período de <i>payback</i> simples	29 anos e 11 meses

O valor atual de um km de estrada é a garantia da construção e da sua existência através dos reparos e da manutenção durante um período de 21 anos.

Para uma comparação dos valores atuais das redes viárias Ortogonal 1, Ortogonal 2, Readequada 1, Readequada 2 e Nível foram considerados somente os custos de construção (investimento inicial) e manutenção de estradas (despesas anuais), apresentados no Quadro 25.

No ano zero, o fluxo de caixa é representado pelo valor do custo de construção por km de estrada. A partir do primeiro ano o fluxo de caixa é representado pelo valor do custo de manutenção menos os juros referentes ao período. O custo de manutenção anual das redes viárias Ortogonal 1 e 2 foi de R\$ 359,81/km.ano, para a Readequada 1 foi de R\$ 59,27/km.ano e para os sistemas de redes Readequada 2 e Nível foi de R\$ 71,01/km.ano.

Quadro 25: Valor atual dos custos de construção e manutenção dos sistemas de rede viária florestal.

Período (ano)	Sistemas de rede viária florestal (R\$/km)			
	Fluxo de caixa			
	Ortogonal 1 e 2	Readequada 1	Readequada 2	Nível
0	5.771,98	8.410,05	8.644,84	6.357,54
1	327,10	53,88	64,55	64,55
2	297,36	48,98	58,69	58,69
3	270,33	44,53	53,35	53,35
4	245,76	40,48	48,50	48,50
5	223,41	36,80	44,09	44,09
6	203,10	33,46	40,08	40,08
7	184,64	30,41	36,44	36,44
8	167,85	27,65	33,13	33,13
9	152,59	25,14	30,12	30,12
10	138,72	22,85	27,38	27,38
11	126,11	20,77	24,89	24,89
12	114,65	18,89	22,63	22,63
13	104,22	17,17	20,57	20,57
14	94,75	15,61	18,70	18,70
15	86,14	14,19	17,00	17,00
16	78,31	12,90	15,45	15,45
17	71,19	11,73	14,05	14,05
18	64,71	10,66	12,77	12,77
19	58,83	9,69	11,61	11,61
20	53,48	8,81	10,56	10,56
21	48,62	8,01	9,60	9,60
Valor atual	8.883,87	8.922,65	9.258,98	6.971,68

As redes viárias Ortogonal 1 e 2 apresentaram um valor presente do projeto de investimento de R\$ 8.883,87/km. Na Readequada 1 esse custo foi de R\$ 8.922,65/km. Para as redes viárias estudadas conforme o modelo teórico de distância entre camalhões, estimou-se um valor atual de R\$ 9.258,98/km para a rede viária Readequada 2 e de R\$ 6.971,68/km para a rede viária Nível.

Observa-se no Quadro 25, que para todos os sistemas de redes viárias o maior valor do fluxo de caixa foi no ano zero, devido ao investimento inicial, nos demais períodos os custos estão representados no fluxo de caixa.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- a) A aplicação do modelo teórico de distância entre camalhões possibilita dimensionar corretamente o número de camalhões necessários para controlar o risco de erosão em estradas florestais não pavimentadas.
- b) O planejamento e a classificação dos sistemas de redes viárias florestais permitem prever os custos de construção, depreciação e manutenção dessas estradas.
- c) Em todos os sistemas de redes viárias o custo de construção mais elevado foi das estradas principais.
- d) O custo do revestimento primário foi o principal elemento da composição dos custos de construção das redes viárias estudadas.
- e) O principal custo de estrada da rede viária Ortogonal 1 e 2 foi a manutenção.
- f) A falta de planejamento do sistema de drenagem na implantação da rede viária Ortogonal resultou em maior risco de erosão durante o período das chuvas.
- g) Na implantação da rede viária ortogonal, os únicos recursos adotados para o controle da erosão foram a construção de camalhões e saídas de água.
- h) O principal custo de estrada da rede viária Readequada 1 e 2, e Nível foi o custo de oportunidade de capital.

- i) As redes viárias com maior custo de construção apresentaram menores custos de manutenção.
- j) Com o indicador *payback* econômico não foi possível determinar o tempo de retorno.

6 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se não planejar a construção de estradas florestais para uma greide da rampa maior que 8,1 %, pois não teria como evitar a erosão por meio de camalhões. Neste caso, deveriam ser adotados outros recursos para se evitar a erosão, como canais de saídas de água entre camalhões ou até mesmo o revestimento primário da pista de rolamento das estradas não pavimentadas.

Sugere-se um estudo prático para validar as classes de greide, e as distâncias entre camalhões para manter fator topográfico LS igual a 1, mensurando a quantidade de perda de solo.

Nestas condições, recomenda-se adotar a construção do sistema de rede viária Readequada 2, para a mudança de uma rede viária já existente em uma área, e para uma nova rede viária, adota-se o sistema de rede viária Nível. Estes sistemas simulados de redes viárias possuem um sistema de drenagem dimensionado corretamente, evitando-se assim o risco de erosão e o excesso de camalhões.

Uma dificuldade encontrada na determinação de custos de estradas não pavimentadas é a escassez de estudos e informações sobre a vida útil em diferentes condições de construção, tráfego, drenagem e outros. Recomenda-se assim que estudos nesta área sejam conduzidos para subsidiar o planejamento de redes viárias e a otimização de recursos aplicados na sua construção e manutenção.

Sugere-se a aplicação da metodologia utilizada neste trabalho para estradas não-pavimentadas com outras finalidades de uso.

Recomenda-se o planejamento adequado na construção da rede viária. Desta forma podem-se conseguir menores custos de manutenção, maior vida útil da estrada, além de minimizar os impactos negativos causados pelas estradas, principalmente a erosão e o assoreamento de rios.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas: **anúário estatístico: ano base 2005**. Brasília, DF, 2006. 80 p.

ALVARENGA, A. C.; NOVAES, A. G. N. **Logística aplicada**: suprimento e distribuição física. São Paulo: Pioneira, 1997. 268 p.

ANJOS FILHO, O. Estradas de terra. **O Estado de São Paulo**, Suplemento agrícola, São Paulo, 29 abr. 1998.

ANTONANGELO, A. **Avaliação do sistema de informações geográficas GRASS para predição dos riscos de erosão em estradas de uso florestal**. Botucatu, 2004. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

ARQUITETURA romana. Disponível em:

<http://www.discoverybrasil.com/guia_roma/arquitetura/index.shtml>. Acesso em: 16 ago. de 2007.

AS PRIMEIRAS estradas brasileiras. Especial rodovias. Disponível em:

<<http://www.camara.gov.br/internet/radiocamara/default.asp?selecao=MAT&Materia=28266>> . Acesso em: 16 ago. 2007.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas**: aplicações na agricultura. Brasília, DF: EMBRAPA, CPAC, 1998. 434 p.

- BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. R. **Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção**. Florianópolis: Departamento Estadual de Infra-Estrutura, 2003. 236 p.
- BANQUE, M. **La détérioration des routes dans les pays en développement: causes et remèdes**. Washington, DC: Banque Mondiale, 1988. 67 p.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 1972. 352 p.
- BECKER, G. Optimization of road network and transport systems: a pre-condition for improved organization and design of labour in forestry. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 8., 1994, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: UFPR, 1994. p. 111-115.
- BERTOLINI, D.; DRUGOWICH, M. I.; LOMBARDI NETO, F.; BELINAZZI JÚNIOR, R.. **Controle de erosão em estradas rurais**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993. 37 p. (Boletim técnico, 207).
- BOHRER, C. B. A.; FIORAVANTE, H.; Oliveira, L. C.; FARIA, C. P.; Silva, A.L.G. Desenvolvimento de um sistema de informações espaciais ambientais e sócio-econômicas para a Amazônia Legal. In: SEMINÁRIO DE ACOMPANHAMENTO NEMESIS, SEMINÁRIO DE ESTUDOS REGIONAIS E URBANOS, 8., I, 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2001.
- BRAZ, E. M. **Otimização da rede de estradas secundárias em projetos de manejo sustentável de floresta tropical**. Rio Branco: EMBRAPA, CPAF/AC, 1997. 38 p.
- BRAZ, E. M.; OLIVEIRA, M. V. N. D.; ARAUJO, H. J. B.; MIRANDA, E. M. **Plano de exploração sob critérios de manejo florestal de baixo impacto**. Rio Branco: EMBRAPA, CPAF/AC, 1998. 20 p. (Circular técnica, 27).
- BUENO, F. S. **Minidicionário da língua portuguesa**. São Paulo: FTD; LISA, 1996. 703 p.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986. 220 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Introdução**. Disponível em:
<<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html>>. Acesso em: 25 maio 2006.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004. 345 p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos de geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Planaltina: EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1998. cap. 1, p. 3-11.

CARVALHO, L. A. **Curso de estradas vicinais**. Telêmaco Borba: Klabin Fabricadora de Papel e Celulose, Seção de Estradas, 1990. 126 p.

CARVALHO, L. A. A rede viária e sua interação com o meio ambiente. In: SEMINAR ON HARVESTING AND WOOD TRANSPORTATION, 11., 2000, Curitiba. **Anais...** p. 54-72.

CAROLINO DE SÁ, M.A. **Erosão do solo: mecanismos e controles**. 2004. Disponível em:
<<http://www.fazendasmt.com.br/artigos/ler>>. Acesso em: 23 maio 2007.

CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: ALVAREZ V. H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996. p. 731-750.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>> Acesso em: 22 nov. 2006.

COMASTRI, J. A.; CARVALHO, C. A. **Estradas (traçado geométrico)**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1981. 71 p. (Apostila, 112).

COSTA, F. A.; SOUZA, R. A. T.; LEITE, A. M. P. **Transporte rodoviário de madeira: um estudo de caso na Amazônia**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 6., 2003, Belo Horizonte, Viçosa: UFV; SIF, 2003. p. 350-362.

DADALTO, G. G.; CARMO FILHO, O. G.; CASTRO, L. L. F. **Captação de águas pluviais das estradas vicinais**. Vitória: EMCAPA, 1990. 22 p. (Documentos, 63).

DAINESE, R. C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual**. Botucatu, 2001. 186 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

DEMARCHI, L. C.; RABELLO, L. R.; SANTOS, N. B.; FRANCO, O.; CORREA, R. O. **Adequação de estradas rurais**. Campinas: CATI, 2003. 64 p. (Manual técnico, 77).

DERPSCH, R., ROTH, C.H., SIDIRAS, N., KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Londrina: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná; Rossdorf: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1990. 272 p.

DIETZ, P.; GRAMMEL, R.; MALINOVSKI, J. R. Parâmetros da rede viária e sua otimização In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 4., 1983, **Anais...** Curitiba: UFPR, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. 1983. p. 2-35.

DIETZ, P. Técnicas para a construção do fundamento (terraplenagem) In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 4., 1983, Curitiba: UFPR, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. 1983. p. 110-120.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Conservação de estradas não pavimentadas**. (Instituto de Pesquisas Rodoviárias), Rio de Janeiro, 1981.

DUARTE, J.; BERGER, R. Investimentos em estradas florestais: uma análise de economicidade. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, 1., 1998, Curitiba: **Anais...** EMBRAPA, CNPF, 1998. p. 99-114.

DURATEX. **Plano e projeto**: sistema viário e talhamento - Fazenda Rio Pardo. Lençóis Paulista, 1988. 10 p.

ESTRADAS e transporte florestal. Disponível em: <<http://home.furb.br/erwin/estradas.htm>>. Acesso em: 30 ago. 2006. (a).

ESTRADAS, transporte e colheita florestal. Disponível em: <<http://home.furb.br/erwin/index.htm>>. Acesso em: 30 ago. 2006. (b).

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION: **Watershed management field manual**: road design and construction in sensitive watersheds, Rome, 1989. 218 p.

FENNER, P. T.; SIMÕES, D.; MARCELINO, F. A.; SILVA, J. R.; BUGLIA, A. G.; GERBER, B. A. Soil loss along forest roads not covered by pavement. In: DEUTSCH-BRASILIANISCHEN SYMPOSIUM ZUR NACHHALTIGEN ENTWICKLUNG, 3., 2007, Freiburg: Albert Ludwigs Universität Freiburg, 2007. p. 159-159.

FLANAGAN, D.C.; RENSCHIER, C.S.; COCLÁRANE, T.A. **Application of the WEPP Model with Digital Geographic Information**. GIS/EM4 No. 149, Banff, Canada. 2000. Disponível em: <<http://www.colorado.edu/research/cires/banff/pubpapers/1491>>. Acesso em 22 dez. 2002.

GARCIA, A. R.; MACHADO, C. C.; SILVA, E. Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p. 535-542. 2003.

GARCIA, G. J.; PIEDADE, G. C. R. **Topografia aplicada às ciências agrárias**. 5. ed. São Paulo: Nobel. 1987. 256 p.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 536 p.

GONÇALVES, J. L. M. Conservação do solo. In: GONÇALVES, J. L.; STAPE, J. L. (Ed). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 2, p. 47-129.

GOOGLE earth. Version 4.2. Google Software, 2007. Windows XP. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 13 nov. 2007.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; MEHL, H. U.; SILVA, D. D.; OLIVEIRA, L. F. C. Equipment to determine erodibility and critical shear stress of soil in road channels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 166-170. 2005.

GRACE III, J. M. Forest road sideslopes and soil conservation techniques. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 55, p. 1-9, 2000.

GRACE III, J.M.; RUMMER, B.; STOKES, B.J.; WILHOIT, J. Evaluation of erosion control techniques on forest roads. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 41, n. 2, p. 383-391, 1998.

GRASS GIS HOMEPAGE. 2006. Disponível em: < <http://grass.baylor.edu/>>. Acesso em: 2 fev. 2007

HENDRISON, J. **Controlled logging in managed tropical rain forests in Suriname**. Wageningen: Agricultural University, 1989. 204 p.

HEYMANN, H. G; BLOOM, R. **Opportunity cost in finance and accounting**. New York: Quorum Books, 1990. 197 p.

HOFFMANN, R.; ENGLER, J. J. C.; SERRANO, O. **Administração da empresa agrícola**. 6. ed. São Paulo: Pioneira, 1989. 325 p.

HORNGREN, C. T. **Introdução à contabilidade gerencial**. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 1985. 509 p.

INSTITUTO ECOS. 2004. Disponível em: <<http://grass.institutoecos.org.br/geral/escopo.htm>>. Acesso em: 1 maio 2007.

INSTITUTO FLORESTAL. **Manual de caminos florestales**. Chile, 1971. 191 p. (Manual, 8).

LEITE, J. G. M. **A otimização dos custos do transporte rodoviário de madeira roliça oriunda de reflorestamento**. Curitiba. 2002. 251 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná.

LIAUTAUD, F. Factors influencing the transferability of maintenance standards for low-volume roads. **Transportation Research Board**, n. 1434, p. 73-76, 1994.

LUCE, C. H.; BLACK, T. A. **Sediment production from forest roads in Western Oregon**. *Water Resources Research*, Moscow, v. 35, p. 2561-2570.

LUGO, A. E.; GUCINSKI, H. Function, effects and management of forest roads. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 133, p. 249-262, 2000.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. Classificação e custos de estradas florestais em florestas plantadas na região sudoeste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, 2002.

MACHADO, C. C.; GARCIA, A. R.; FONTES, A. M.; SILVA, E. Comparação de taxas de erosão em estradas florestais estimadas pelo modelo WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) modificado em relação a medições experimentais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.3, maio/jun. 2003.

MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, 2002. 468 p.

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

MACHADO, C. C.; CASTRO, P. S. **Exploração florestal**. Viçosa: UFV, 1985. parte IV, 32p.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. **Rede viária florestal**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1986. 157 p.

MACHADO, C. C. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal**. Viçosa: UFV. 1984. 138 p.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. Planejamento de estradas florestais ambientalmente corretas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 5. 2001, Porto Seguro: **Anais...** Viçosa: SIF, UFV, 2001. p. 28-43.

MALINOVSKI, J. R.; PERDONCINI, W. C. **Estradas florestais**. Publicação Técnica do Colégio de Irati: GTZ, Irati, 1990. 100 p.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. São Paulo: Atlas, 1995. 312 p.

McCLOY, K.R. **Resource management information systems: process and practice**. London: Taylor & Francis, 1995. 542 p.

MDEP. Massachusetts Department Of Environmental Protection: **Unpaved roads BMP manual**. Massachusetts, 2001. 104 p.

MEYER, L. D.; MANNERING, J. V. **Tillage and land modification for water erosion control**. American Soc. Agric. Eng, Tillage for greater crop production, Conf. Proc. Dec. 11-12, p. 58-62. 1967.

NASCIMENTO, F. R. **Comparação entre um modelo teórico e o real, no investimento em construção de estradas de uso florestal, relacionado com o volume de madeira transportado**. Botucatu, 2005. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

NETELER, M. E.; MITASOVA, H. **Open source GIS: a GRASS GIS approach**. Massachusetts: Kluwer Academic, 2002. 434 p.

NEVES, E. M.; CIDADE, P. F. A.; ESPERANCINI, M. S. T. **Orçamentos de custos de 6 culturas no estado de São Paulo**. Relatório de Pesquisa (Convênio FEALQ/SRB), 1996. 86p.

NICHOLS, T. E. Transportation and regional development in agriculture. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 51, n. 5, 1455-1463, 1969.

NILL D.; SCHWERTMANN U.; SABEL-KOSCHELLA U.; BER-RD M.; BREWER J. **Soil erosion by water in Africa**. Germany: Deutsche Bibliothek, 1996. 292 p.

NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários. administração financeira: orçamento e viabilidade econômica**. São Paulo: Altas, 1987. 269 p.

ODA, S. Caracterização de estradas não-pavimentadas visando a implementação de um sistema de gerência de vias. **Revista Engenharia & Arquitetura**, São Carlos, v. 1, n. 2, p. 135 - 145, 1998.

ODA, S. **Caracterização de uma rede municipal de estradas não-pavimentadas**. São Carlos, 1995. 109 f. Dissertação (Mestrado em Transportes)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, M. J. G. Classificação para orientar a manutenção de vias não pavimentadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA. Joinville: 2005.

PAULO, M. **Transporte ineficiente prejudica agronegócio**. Disponível em: < <http://www.comciencia.br/200404/reportagens/03.shtml> > Acesso em: 23 out. 2006.

PEREIRA, D. R. A. C. M.; COSTA, R. **Terraplenagem**. Curitiba: Universidade Católica do Paraná, Educa, v. 1, 1983.

PEREIRA, R. S.; MACHADO, C. C.; SILVA, M. L.; SANTANNA, G. L.; CARVALHO, C. A. B. Análise econômica de investimentos em estradas florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 5., 2001, Porto Seguro. Viçosa: SIF, UFV, 2001. p. 28-43.

POLITANO, W; LOPES, L. R.; AMARAL, C. **O papel das estradas na economia rural**. São Paulo: Nobel, 1989. 78 p.

RAMALHO FILHO, A.; OLIVEIRA, R. P.; PEREIRA L. C. Use of geographic information systems in (planning) sustainable land management in Brazil: potentialities and user needs. *ITC Journal*, Pontevedra, p. 295-301, 3 abr. 1997.

RANDOLPH W; JAFFE, J. F. **Administração financeira**. São Paulo: Atlas. 1995. 778 p.

RIBEIRO, C. A. A. S. **Floresta de precisão**. In: MACHADO, C.C (Org). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Univesitária, 2002. p. 311-374.

RICHTER, G. Bodenerosion – Bodenschutz. In: **Natur- und Umweltschutz in der Bundesrepublik Deutschland**. Parey, Hamburg/Berlin, 1978, p. 98-111.

ROBERTS, P.; ROBINSON, R. Need to set priorities for road maintenance in developing countries. **Transportation Research Record**, Washington, n. 898, p. 347–354, 1983.

RODOVIAS. Disponível em:

<<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo4A/rodovias.htm>>. Acesso em: 19 jun. 2007.

RODRIGUES, V. A.; STARZYNSKI, R. (Coords.). In: Workshop em manejo de bacias hidrográficas, 8., 2004, Cunha. **Anais...** 2004. p. 7-18.

ROLT, J. Low-volume roads: problems, needs and impacts. **Transportation Research Circular**, Washington, DC, n. 446, p. 25-26, 1995.

SAMPLE, V.A. **Remote sensing and GIS in ecosystem management**. Washington: Island Press, 1994. 382 p.

SANTOS, A. R.; PASTORE, E. L.; JUNIOR, F.A.; CUNHA, M. A. **Estradas vicinais de terra**: manual técnico para conservação e recuperação. São Paulo: IPT, 1985. 140 p.

SCHACK-KIRCHNER, H.; FENNER, P. T.; HILDEBRAND, E.; ANTONANGELO, A. Índices topográficos do potencial de erosão em estradas florestais. In: RODRIGUES, R. **Manejo de microbacias hidrográficas**: experiências nacionais e internacionais. Botucatu: FEPAF, 2006, v. 1, p. 188-199.

SCHWERTMANN, U. Grundlagen und Problematik der Bodenerosion. In: Bodenerosion, ursachen des bodenabtrages und gegenmanahmen. Arbeiten der DLG: Band 174. 1982.

SEIXAS, F. Novas tecnologias no transporte rodoviário de madeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 5., 2001, Porto Seguro: **Anais...** Viçosa: SIF, UFV, 2001. p. 1-27.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. 178 p.

SILVA, M. L.; LIMA JÚNIOR, V. B.; REZENDE, J. L. P. **Custo da terra**. Viçosa: UFV, 1997. 19 p.

SMOOT, J. L.; SMITH, R. D. **Soil erosion prevention & sediment control**. 1999. Disponível em: <<http://www.engr.utk.edu/research/water/erosion/index.htm>>. Acesso em: 2 maio 2007.

SPEGLICH E. **Rodovias são obras de grande impacto**. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/200404/reportagens/08.shtml> > Acesso em: 23 out. 2006.

SPEIDEL, G. **Economia florestal**. Curitiba: UFPR, 1966. 167 p.

TUCHY, E. Forestry ecology in mountain areas. In: Logging in mountain forests. Rome: FAO, 1982. p. 9-14.

USDA: United States Department of Agriculture. **Commodity Costs and Returns Measurement Methods**. Washington, DC: USDA, 2001. 566 p.

VERSFELD, D. B. Overland flow on small plots at the Jonkershoek Forestry Research Station. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 119, p. 35-40, Nov. 1981.

WESTON, J. F.; BRIGHAM, E. F. **Fundamentos da administração financeira**. 10. ed. São Paulo: Makron Books, 2000. 1030 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall losses: a guide to conservation planning**. 1978. 58 p. (UMA Agricultural Handbook, 537).

APÊNDICE

APÊNDICE 1

Para digitalização do mapa atualizado no programa GIS-GRASS 5.4, utilizou-se a metodologia descrita por Antonangelo (2004).

Inicialmente, para a importação dos dados pelo GRASS, o mapa de referência que foi atualizado, na qual houve modificações na rede viária e na área de proteção permanente, com a criação de corredores de fauna, foi transformado em arquivos formato “tiff” através de *scanner* e de um editor de imagens (no trabalho, o GIMP do GNU/LINUX foi utilizado).

Com o GRASS 5.4 iniciado, foi utilizada uma locação já existente por Antonangelo (2004). Na importação do mapa em formato “tiff”, o comando do GRASS utilizado foi o **r.in.gdal**. Por exemplo, no caso do trabalho, para importar o mapa denominado Rio_Atualizado e colocá-lo na locação RioClaroTeste2 com o nome de “Protecao” foi utilizada a linha de comando:

```
GRASS:~>r.in.gdal          input=~\RC\Rio_Atualizado.tiff          output=Protecao
location=RioClaroTeste2).
```

Para editar grupos de imagens, isto é, acrescentar camadas de dados ou remover camadas de dados de um grupo imagem (lista de mapas no formato *raster* para serem processados), foi utilizado o comando **i.group**.

O passo seguinte foi a criação de uma locação objetivo definindo, neste momento, o sistema de projeção do mapa (no trabalho, em *Universal Transverse Mercator Grid System* - UTM), através do comando **i.target**, onde a imagem é marcada para o banco de dados. Por exemplo, no trabalho, a imagem “Proteção” foi direcionada para a locação objetivo no GRASS RioClaroTeste2.

Após a criação da imagem e da locação objetivo, houve a definição dos pontos geográficos de referência e o comando utilizado para dar as coordenadas geográficas para a locação projetada foi o **i.points**. Para isto, 4 pontos referenciados do mapa copiado foram considerados e registrados no GRASS.

Finalmente, é realizada a transformação do mapa copiado para um mapa georreferenciado do GRASS usando o comando do GRASS **i.rectify**. Para isto, foi dado

um nome para o mapa copiado para o mesmo ser armazenado sobre a locação projetada. Dentre as alternativas do GRASS, é possível ajustar as coordenadas limites e a resolução a partir das informações mostradas na tela.

Finalizada a etapa de importação e georreferenciação do mapa atualizado da fazenda no GRASS, a partir do comando **v.digit**, teve início a etapa de digitalização, ou seja, com a utilização, em segundo plano, do mapa georreferenciado, através de sucessivos cliques com o *mouse* do computador sobre pontos das linhas ou áreas de interesse deste mapa, novos mapas específicos foram criados com as informações novas, isto é, o mapa de referência foi decomposto em várias “camadas” representando, cada uma delas, estradas (linhas), quadras de plantio (áreas), áreas de proteção ambiental (áreas) e construções (pontos), sendo criados novos mapas em formato vetor.

Após a digitalização, de acordo com critérios específicos, a rios, quadras de plantio, áreas de proteção ambiental e trechos de estradas foram atribuídas categorias numéricas e níveis (números ou características) as quais, eventualmente, podem ser associadas a vários atributos através de bancos de dados, tornando-se uma ferramenta útil para o gerenciamento da área. No final da digitalização, o comando **v.support** foi acionado para a verificação de possíveis erros.

Com os mapas em formato *vetor* disponíveis, várias análises podem e foram feitas como, por exemplo, cálculo da área total, área de proteção permanente, das áreas com rede viária ortogonal e em nível e do comprimento das estradas.

Após a separação dos mapas de acordo com os sistemas de estrada existente (ortogonal e em nível) usando novamente o comando **r.mapcalc**, análises estatísticas foram feitas com o comando **r.univar** (altitude média e amplitude da altitude, por exemplo).

APÊNDICE 2

R-Statistics

Para a obtenção da localização do trecho, do cálculo do fator LS, do comprimento do trecho e do greide, foi realizado um trabalho conjunto através dos *softwares* GRASS e R (*R-Statistics*). Para tanto, inicialmente, ainda no GRASS, dois comandos foram utilizados em seqüência, pois o primeiro cria um arquivo temporário utilizado pelo segundo, isto é, utilizou-se o comando **v.extract** para selecionar e criar um novo arquivo com todas as categorias de estradas (GRASS:~ > v.extract type=line input= Estradas_atualizada output=estrada_tmp new=0 list=3) e o comando **v.out.ascii** para criar um arquivo no formato “asc” para ser exportado para o R (GRASS:~ > v.out.ascii input=estrada_tmp output=estradas.asc).

No R, uma rotina em linguagem AWK foi utilizada com o objetivo de ordenar cada estrada exportada pelo GRASS no sentido correto localizando o seu primeiro e último pontos e corrigindo, assim, problemas de resolução que distorcem sua correta seqüência. Esta rotina executada no R já cria um arquivo no formato “asc” para ser usado no próximo passo iniciado pelo comando **r.profile**, novamente no GRASS, resolução de 5 metros, que associa a estrada ao modelo DEM para a obtenção dos greides.

Novamente no R, utilizou-se uma rotina para se colocar todas as características calculadas das estradas da rede viária num mesmo arquivo. Criou-se um programa executado por R, chamado “splineFinalTrecho.R”, onde foi criado um *looping* fazendo os cálculos de uma só vez de todas as características necessárias da rede viária da propriedade rural.

No programa R é executado o programa "splineFinalTrecho.R":

```
source("splineFinalTrecho.R")
```

Programa "splineFinalTrecho.R":

```

estradaspl <- function(etab,extensao) {
  dfx<-max(etab$num1)/extensao
  espl<-smooth.spline(etab$num1,etab$num2,df=dfx) #
  decliv <- predict(espl,etab$num1,deriv=1)
  deriv2 <- predict(espl,etab$num1,deriv=2)
  rmp<-ifelse(abs(decliv$y)<0.003,0,decliv$y)
  (east=etab$east,north=etab$north,cat=etab$id,lng=etab$num1,hgem=etab$num2,hmod=espl$y,abl1=decliv$y,abl2=deriv2$y,rmp=rmp,idx=rep(0,length(etab$num1)),trecho=rep(1,length(etab$num1)))

  ma$idx[]<-rep(ifelse(abs(ma$rmp[1])==0,0,1),length(ma$rmp))
  #ma$idx[ma$rmp==0] <- NA
  rampnr<-(ma$idx[1])
  for(i in 2:length(ma$rmp)){ma$idx[i]<- ifelse(sign(ma$rmp[i-1])==sign(ma$rmp[i]),ma$idx[i-1],ifelse(ma$rmp[i]==0,0,rampnr<-rampnr+1))}

  for(i in 2:length(ma$rmp)){ma$trecho[i]<- ifelse(ma$idx[i-1]==ma$idx[i],ma$trecho[i-1],ma$trecho[i-1]+1)}
  declivm <- tapply(ma$abl1,ma$trecho,function(x) {abs(mean(x))})
  declivmedia <- declivm*100
  comprimento <- tapply(ma$lng,ma$trecho,function(x) {max(x)-min(x) })
  #nodarampa=c(0:max(ma$idx))
  nodotrecho=c(min(ma$trecho):max(ma$trecho))
  expoentecomprimento =
  ifelse(declivmedia<=0.5,0.15,ifelse(declivmedia<=1.0,0.2,ifelse(declivmedia<=3.4,0.3,ifelse(declivmedia<=4.9,0.4,0.5))))
  ls((((comprimento/22.1)**expoentecomprimento)*(declivmedia/9)*(sqrt(declivmedia/9))))
  resultados<-data.frame(ls=ls, compri=comprimento,
  decli=declivmedia,trecho=nodotrecho)
  merge(ma,resultados,allx=TRUE)
}

```

APÊNDICE 3

Características dos trechos das estradas da *rede viária ortogonal*, com o número de camalhões observados no campo e do número de camalhões calculado para fator topográfico LS igual a 1.

Número de trechos	Comprimento (m)	Greide (%)	Fator LS	Nº de camalhões observados	Nº de camalhões calculado
1	15,00	0,683	0,019	0	0
2	19,00	0,069	0,001	0	0
3	187,60	5,180	1,272	2	2
4	160,00	0,108	0,002	0	0
5	25,00	0,326	0,007	0	0
6	65,73	0,056	0,001	0	0
7	630,00	2,041	0,295	3	0
8	15,00	0,041	0,000	0	0
9	145,00	4,027	0,635	2	0
10	170,00	0,103	0,002	0	0
11	1374,60	3,130	0,708	10	0
12	290,00	0,049	0,001	0	0
13	452,37	2,393	0,339	0	0
14	5,00	0,043	0,000	0	0
15	65,00	2,917	0,255	0	0
16	205,00	0,047	0,001	0	0
17	50,00	0,521	0,016	0	0
18	95,00	0,100	0,001	0	0
19	50,00	0,500	0,015	0	0
20	20,00	0,037	0,000	0	0
21	860,20	4,322	1,440	7	6
22	10,00	0,289	0,005	0	0
23	10,00	0,334	0,006	0	0
24	1374,70	3,130	0,708	8	0
25	430,00	4,814	1,283	4	5
26	15,00	0,025	0,000	0	0
27	10,00	0,351	0,007	0	0
28	5,00	0,063	0,000	0	0
29	355,50	5,967	2,164	5	5
30	50,00	0,096	0,001	0	0
31	165,50	0,527	0,021	0	0
32	55,00	0,000	0,000	0	0
33	185,00	1,169	0,089	0	0
34	131,90	0,043	0,000	0	0
35	438,75	3,340	0,554	3	0
36	10,00	0,167	0,002	0	0
37	288,24	0,076	0,001	0	0

Número de trechos	Comprimento (m)	Greide (%)	Fator LS	Nº de camalhões observados	Nº de camalhões calculado
38	60,00	0,318	0,008	0	0
39	215,71	0,149	0,003	0	0
40	180,00	2,540	0,281	0	0
41	35,00	0,100	0,001	0	0
42	1019,10	5,310	3,078	11	11
43	35,00	0,130	0,002	0	0
44	408,30	2,859	0,429	2	0
45	1374,70	3,130	0,708	7	0
46	40,00	0,089	0,001	0	0
47	357,10	2,120	0,264	2	0
48	20,00	0,008	0,000	0	0
49	55,00	0,904	0,038	0	0
50	5,00	0,072	0,000	0	0
51	130,00	4,666	0,758	1	0
52	5,00	0,005	0,000	0	0
53	25,00	0,631	0,019	0	0
54	10,00	0,075	0,001	0	0
55	225,00	4,072	0,770	2	0
56	746,30	6,318	3,418	10	12
57	5,00	0,107	0,000	0	0
58	280,00	1,390	0,130	0	0
59	1019,80	3,096	0,637	5	0
60	20,00	0,291	0,006	0	0
61	5,00	0,306	0,005	0	0
62	15,00	0,005	0,000	0	0
63	119,80	4,697	0,741	1	0
64	5,00	0,036	0,000	0	0
65	520,00	5,192	2,125	5	6
66	1178,48	3,771	1,331	10	8
67	5,00	0,416	0,008	0	0
68	30,00	0,031	0,000	0	0
69	185,00	2,136	0,219	1	0
70	5,00	0,129	0,000	0	0
71	580,00	9,210	5,303	13	19
72	770,00	5,506	2,825	8	9
73	25,00	0,079	0,001	0	0
74	80,00	2,367	0,198	1	0
75	5,00	0,036	0,000	0	0
76	30,00	0,601	0,018	0	0
77	615,00	5,333	2,407	7	7
78	45,00	2,413	0,172	0	0
79	325,00	2,221	0,275	2	0

Número de trechos	Comprimento (m)	Greide (%)	Fator LS	Nº de camalhões observados	Nº de camalhões calculado
80	20,00	0,051	0,000	0	0
81	40,00	0,375	0,009	0	0
82	20,00	0,081	0,001	0	0
83	375,00	2,624	0,368	3	0
84	5,00	0,117	0,001	0	0
85	105,00	0,143	0,003	0	0
86	117,07	0,888	0,043	0	0
87	5,00	0,096	0,000	0	0
88	205,00	2,832	0,344	2	0
89	5,00	0,017	0,000	0	0
90	190,00	1,069	0,078	1	0
91	25,00	0,038	0,000	0	0
92	801,00	2,533	0,438	9	0
93	345,00	0,003	0,000	0	0
94	15,00	0,330	0,007	0	0
95	10,00	0,074	0,001	0	0
96	350,00	5,124	1,709	4	4
97	701,84	5,589	2,758	9	8
98	55,00	0,049	0,000	0	0
99	30,00	0,625	0,019	0	0
100	30,00	0,003	0,000	0	0
101	60,00	0,360	0,009	0	0
102	30,00	0,127	0,002	0	0
103	325,00	2,702	0,368	3	0
104	20,00	0,071	0,001	0	0
105	1229,50	2,732	0,558	9	0
106	35,00	0,037	0,000	0	0
107	25,00	0,336	0,007	0	0
108	45,00	0,147	0,002	0	0
109	110,00	4,910	0,899	2	0
110	318,70	3,239	0,481	4	0
111	90,50	0,054	0,001	0	0
112	10,00	0,309	0,006	0	0
113	30,00	0,063	0,001	0	0
114	167,50	0,685	0,031	0	0
115	65,00	0,133	0,002	0	0
116	620,00	7,468	4,004	12	21
117	892,10	5,813	3,298	12	13
118	50,00	4,167	0,437	0	0
119	5,00	0,252	0,000	0	0
120	59,40	2,626	0,212	0	0
121	80,80	3,804	0,462	1	0

Número de trechos	Comprimento (m)	Greide (%)	Fator LS	Nº de camalhões observados	Nº de camalhões calculado
122	5,00	0,272	0,000	0	0
123	75,00	1,970	0,148	0	0
124	5,00	0,156	0,000	0	0
125	25,00	0,852	0,030	0	0
126	5,00	0,135	0,000	0	0
127	95,90	2,949	0,291	1	0
128	5,00	0,087	0,000	0	0
Total/média	27.182,69	1,57	0,43	204	135

APÊNDICE 4

Características dos trechos das estradas da *rede viária em nível*, com o número de camalhões observados no campo e do número de camalhões calculado para fator topográfico LS igual a 1.

Número de trechos	Comprimento (m)	Greide (%)	Fator LS	Nº de camalhões observados	Nº de camalhões calculado
1	284,34	0,686	0,035	0	0
2	35,00	0,062	0,001	0	0
3	20,00	0,458	0,011	0	0
4	326,54	0,013	0,000	0	0
5	116,24	0,475	0,016	0	0
6	5,00	0,015	0,000	0	0
7	75,00	0,499	0,016	0	0
8	5,00	0,248	0,000	0	0
9	55,00	0,820	0,033	0	0
10	12,00	0,048	0,000	0	0
11	140,00	1,238	0,089	0	0
12	59,80	7,037	1,137	1	1
13	769,98	6,468	3,596	7	15
14	35,00	0,147	0,002	0	0
15	40,00	0,794	0,030	0	0
16	100,50	1,450	0,102	0	0
17	5,00	0,126	0,000	0	0
18	20,00	0,928	0,032	0	0
19	30,00	0,047	0,000	0	0
20	112,50	2,277	0,207	0	0
21	5,00	0,054	0,000	0	0
22	40,00	0,693	0,024	0	0
23	60,00	0,094	0,001	0	0
24	50,00	0,973	0,042	0	0
25	30,20	0,128	0,002	0	0
26	59,40	0,930	0,040	0	0
27	10,00	0,048	0,000	0	0
28	80,30	3,136	0,303	0	0
29	445,10	11,151	6,189	7	15
30	45,00	1,574	0,091	0	0
31	5,00	0,094	0,000	0	0
32	149,68	8,533	2,402	2	5
33	123,73	10,585	3,018	3	4
34	5,00	0,253	0,000	0	0
35	44,73	0,982	0,041	0	0
36	5,00	0,075	0,001	0	0
37	94,33	2,240	0,192	0	0
38	5,00	0,120	0,000	0	0
39	14,90	0,536	0,013	0	0

Número de trechos	Comprimento (m)	Greide (%)	Fator LS	Nº de camalhões observados	Nº de camalhões calculado
40	15,00	0,007	0,000	0	0
41	60,00	2,418	0,188	0	0
42	50,00	10,784	1,973	1	2
43	315,00	8,439	3,428	6	11
44	158,06	1,466	0,119	0	0
45	75,00	0,041	0,000	0	0
46	54,50	1,191	0,063	0	0
47	5,00	0,054	0,000	0	0
48	56,92	0,769	0,030	0	0
49	34,03	0,143	0,002	0	0
50	50,00	0,851	0,034	0	0
51	60,03	0,715	0,027	0	0
52	88,00	0,079	0,001	0	0
53	902,00	4,940	2,597	5	10
54	159,70	9,616	2,969	0	5
55	5,00	0,116	0,000	0	0
56	206,10	1,465	0,128	0	0
57	15,00	0,104	0,001	0	0
58	45,00	0,929	0,038	0	0
59	5,00	0,127	0,001	0	0
60	77,20	1,229	0,073	0	0
61	132,30	2,638	0,271	0	0
62	5,00	0,116	0,001	0	0
63	15,00	0,441	0,010	0	0
64	4,44	0,109	0,001	0	0
65	10,00	0,502	0,011	0	0
66	60,50	0,115	0,002	0	0
67	15,00	0,615	0,017	0	0
68	5,00	0,044	0,000	0	0
69	5,00	0,422	0,008	0	0
70	5,00	0,031	0,000	0	0
71	78,73	8,869	1,846	0	3
72	25,57	1,349	0,061	0	0
73	20,00	1,422	0,061	0	0
74	5,00	0,057	0,000	0	0
75	108,70	3,086	0,324	0	0
76	5,00	0,182	0,000	0	0
77	132,70	4,639	0,759	0	0
78	5,00	0,054	0,000	0	0
79	28,65	0,871	0,032	0	0
80	5,00	0,029	0,000	0	0
81	66,97	1,526	0,097	0	0
82	82,08	2,348	0,198	0	0

Número de trechos	Comprimento (m)	Greide (%)	Fator LS	Nº de camalhões observados	Nº de camalhões calculado
83	62,52	3,395	0,317	0	0
84	60,30	2,191	0,162	0	0
85	50,00	4,919	0,608	0	0
86	5,00	0,083	0,000	0	0
87	60,00	0,988	0,044	0	0
88	5,00	0,185	0,002	0	0
89	20,00	0,600	0,017	0	0
90	10,00	0,193	0,003	0	0
91	231,31	8,087	2,756	3	8
92	278,20	4,383	0,936	0	0
93	5,00	0,148	0,000	0	0
94	138,20	3,832	0,578	0	0
95	121,25	4,038	0,594	0	0
96	40,77	1,018	0,046	0	0
97	10,00	0,058	0,000	0	0
99	5,00	0,263	0,000	0	0
100	195,16	3,673	0,623	0	0
101	5,00	0,172	0,000	0	0
102	297,90	4,943	1,494	0	3
103	90,00	0,799	0,035	0	0
104	10,00	0,072	0,001	0	0
105	567,04	6,406	3,042	6	11
106	10,00	0,543	0,013	0	0
107	5,00	0,046	0,000	0	0
108	15,00	0,440	0,010	0	0
109	20,00	0,158	0,002	0	0
110	37,23	0,905	0,035	0	0
111	60,00	0,031	0,000	0	0
112	216,47	2,086	0,221	0	0
113	5,00	0,262	0,000	0	0
114	143,45	2,420	0,244	0	0
115	5,00	0,088	0,000	0	0
116	50,00	0,823	0,033	0	0
117	5,00	0,235	0,003	0	0
118	85,27	2,409	0,208	0	0
119	5,00	0,299	0,000	0	0
120	10,00	0,353	0,007	0	0
121	5,00	0,024	0,000	0	0
122	30,00	1,429	0,069	0	0
123	5,00	0,184	0,000	0	0
124	45,00	5,100	0,609	0	0
125	5,00	0,160	0,000	0	0
126	761,25	4,125	1,279	0	5

Número de trechos	Comprimento (m)	Greide (%)	Fator LS	Nº de camalhões observados	Nº de camalhões calculado
127	15,00	0,068	0,001	0	0
128	63,86	1,216	0,068	0	0
129	10,00	0,018	0,000	0	0
130	86,30	0,737	0,031	0	0
131	10,00	0,069	0,001	0	0
132	287,25	2,435	0,304	0	0
133	66,69	0,022	0,000	0	0
134	363,93	4,584	1,115	0	2
135	30,00	1,060	0,044	0	0
136	5,00	0,047	0,000	0	0
137	485,00	8,032	3,950	8	16
138	5,00	0,269	0,002	0	0
139	190,00	8,566	2,722	3	6
140	10,00	0,016	0,000	0	0
141	170,00	7,095	1,941	3	3
142	225,00	7,755	2,552	3	8
143	0,00	0,038	0,000	0	0
144	40,00	1,273	0,064	0	0
145	849,15	2,600	0,464	0	0
146	15,00	0,007	0,000	0	0
147	66,08	0,624	0,023	0	0
148	35,00	0,043	0,000	0	0
149	5,00	0,622	0,014	0	0
150	15,00	0,078	0,001	0	0
151	318,28	1,564	0,161	0	0
152	10,00	0,254	0,004	0	0
153	55,00	0,873	0,036	0	0
154	5,00	0,049	0,000	0	0
155	20,00	0,541	0,014	0	0
156	87,10	0,023	0,000	0	0
157	223,36	2,134	0,231	1	0
158	5,00	0,186	0,000	0	0
159	15,00	0,684	0,019	0	0
160	5,00	0,221	0,000	0	0
161	125,42	1,545	0,120	0	0
162	30,00	0,022	0,000	0	0
163	180,00	1,970	0,192	0	0
164	555,00	4,631	1,340	5	4
165	325,00	5,472	1,818	3	4
166	35,00	1,253	0,060	0	0
167	10,00	0,216	0,003	0	0
168	55,00	1,699	0,108	0	0
169	5,00	0,150	0,000	0	0

Número de trechos	Comprimento (m)	Greide (%)	Fator LS	Nº de camalhões observados	Nº de camalhões calculado
170	886,13	3,256	0,659	4	0
171	15,00	0,106	0,001	0	0
172	479,44	2,744	0,424	2	0
173	75,00	0,071	0,001	0	0
174	110,00	0,528	0,020	0	0
175	10,00	0,027	0,000	0	0
176	656,18	2,837	0,489	0	0
177	459,13	2,176	0,295	0	0
178	5,00	0,245	0,004	0	0
179	97,32	0,072	0,001	0	0
180	629,34	3,989	1,127	0	4
181	20,00	0,086	0,001	0	0
182	190,56	1,812	0,172	0	0
183	35,00	0,089	0,001	0	0
184	192,91	1,919	0,189	0	0
185	65,00	0,154	0,003	0	0
186	25,24	0,325	0,007	0	0
192	264,71	1,286	0,114	0	0
193	5,00	0,255	0,004	0	0
194	381,14	0,956	0,061	0	0
195	90,00	0,022	0,000	0	0
196	60,00	0,422	0,012	0	0
197	15,00	0,079	0,001	0	0
198	24,00	0,560	0,016	0	0
199	65,00	0,068	0,001	0	0
200	36,00	0,713	0,025	0	0
201	5,00	0,011	0,000	0	0
202	95,00	1,179	0,073	0	0
203	158,38	1,747	0,154	0	0
204	5,00	0,007	0,000	0	0
205	882,68	2,415	0,420	3	0
206	362,67	0,003	0,000	0	0
207	1267,32	1,535	0,237	0	0
208	555,51	2,152	0,308	0	0
209	303,41	1,285	0,118	1	0
210	165,00	0,126	0,002	0	0
211	680,07	2,432	0,393	2	0
212	110,00	0,063	0,001	0	0
213	35,00	1,482	0,077	0	0
214	75,00	0,158	0,003	0	0
Total/média	25.272,33	1,56	0,34	79	145