

XVIII Simpósio Florestal Catarinense  
"Tendências e Inovações no Setor Florestal"



# PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO PLANEJAMENTO, CONSTRUÇÃO E CONSERVAÇÃO DE ESTRADAS FLORESTAIS

**Professor Jean Alberto Sampietro**  
Eng. Florestal, Dr. em Eng. Florestal  
Docente e Pesquisador em Logística de Abastecimento,  
Rede Viária e Solos Florestais da UDESC



Curitibanos, SC  
24 de outubro de 2024

## Laboratório de Operações e Estradas Florestais do Centro de Ciências Agroveterinárias (LOPEF/CAV)

### Objetivo

Atuar no ensino e difusão de conhecimento científico de processos para o cultivo, manejo, colheita, transporte e uso de recursos florestais, de modo a estimular à interdisciplinaridade e inovação para desenvolvimento de melhores práticas para as operações e atividades florestais.

### Coordenador

- Prof. Jean Alberto Sampietro (UDESC) - *Estradas, operações e solos florestais*

### Colaboradores

- Prof. Marcio Navroski (UDESC) - *Silvicultura*
- Prof. Philippe R. Soares (UDESC) - *Economia e gestão*
- Prof. Marcos F. Nicoletti (UDESC) - *Dendrometria*
- Prof. Thiago F. Stepka (UDESC) - *Inventário e manejo*
- Prof.ª Martha Andrea Brand (UDESC) - *Energia*
- Prof. Jackson A. Albuquerque (UDESC) - *Física do solo*
- Prof. Ildegardis Bertol (UDESC) - *Conservação do solo*
- Prof. Luis C. de Freitas (UESB) - *Colheita e transporte*
- Prof. Marcelo Bonazza (UFSC) - *Ciência do trabalho*
- Prof. Eduardo S. Lopes (UNICENTRO) - *Ergonomia*
- Prof. Renato C. G. Robert (UFPR) - *Colheita e logística*
- Prof. Saulo Guerra (UNESP) - *Mecanização florestal*

### Estudantes

- Alessandro Souza (CEDUP) - *Estágio*
- Giovana Oliveira (CEDUP) - *Estágio*
- Ana M. Pereira (Eng. Florestal) - *Iniciação Científica*
- Lucas M. Pereira (Eng. Ambiental) - *Iniciação Científica*
- Neri M. B. de Moura (Eng. Florestal) - *Iniciação Científica*
- Elifas Costa Silva (Eng. Florestal) - *Bolsista de Trabalho*
- Juliane Borba do Couto (Ciência do Solo) - *Mestranda*
- Júlio Cesar Soares (Eng. Florestal) - *Mestrando*
- Fernando Rosa de Matos (Eng. Florestal) - *Mestrando*
- Leonardo A. de A. Martins (Eng. Florestal) - *Mestrando*
- Norton Machado (Ciência do Solo) - *Doutorando*
- Franciny L. Souza (Eng. Florestal) - *Doutoranda*
- Marcelo Goulart (Eng. Florestal) - *Doutorando*
- Gabriel Corso Pellens (Eng. Florestal) - *Doutorando*
- Murilo H. dos S. Novaes (Eng. Florestal) - *Doutorando*
- Eduardo Schabatoski Guidi (Ciência do Solo) - *Doutorando*
- Voluntários em Nível de Graduação e Pós-Graduação



## OBJETIVO

Abordar os principais desafios e as tendências de pesquisa e desenvolvimento para o planejamento, construção e conservação de estradas florestais.

## CONTEÚDO DA APRESENTAÇÃO

1

Importância, problemas e principais desafios na gestão e operação de estradas florestais

2

Tendências de pesquisa e desenvolvimento tecnológico para o planejamento, construção e conservação de estradas florestais

3

Considerações sobre o desenvolvimento tecnológico e gestão de estradas florestais

## INTRODUÇÃO

Qual é a importância das estradas rurais florestais?

Possibilitam e viabilizam a produção florestal

✓ Acesso a áreas florestais

✓ Proteção florestal

✓ Implantação e condução

✓ Colheita e transporte



## Importância das estradas não pavimentadas

Malha Rodoviária Brasileira - Extensão em Km

Fonte: Confederação Nacional do Transporte (CNT)

## Qual é a importância das estradas rurais e florestais?

Possibilitam e viabilizam a produção florestal

### Pesquisa realizada no II EBIF (2016)

Qual o grau de importância da rede viária para sua empresa?

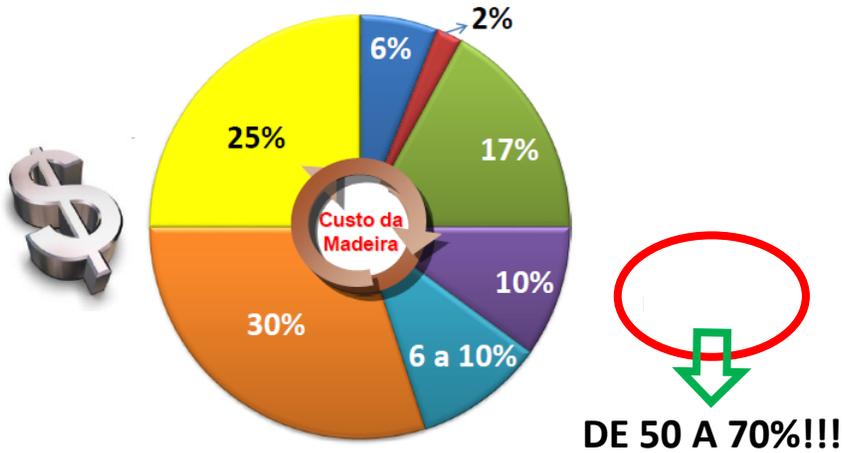


Fonte: Malinovski et al. 2016

## Qual é a importância das estradas rurais e florestais?

Possibilitam e viabilizam a produção florestal

Composição de Custos na Produção de Madeira



Fonte: Malinovski et al. 2016

## Qual é a importância das estradas rurais e florestais?

Possibilitam e viabilizam a produção florestal

### Pesquisa realizada no II EBIF (2016)



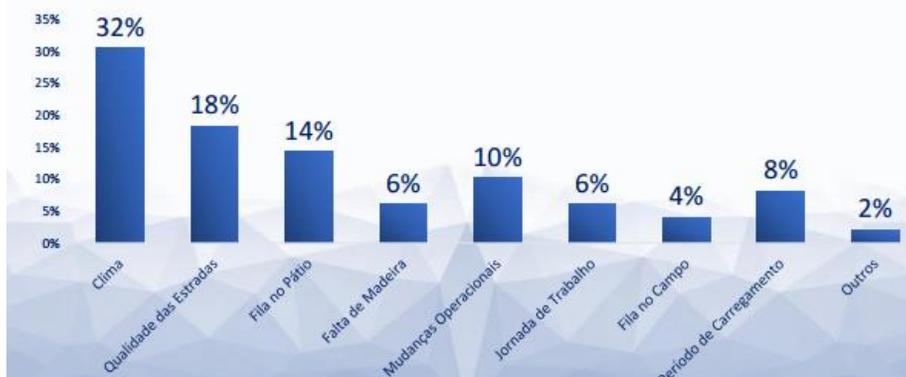
Fonte: Malinovski et al. 2016

# INTRODUÇÃO

Impacto no desempenho e custo das operações logísticas

## Pesquisa realizada no II EBIF (2016)

Quais os motivos que levam ao não cumprimento do transporte?



Fonte: Malinovski et al. 2016

## Envelhecimento e escassez de mão-de-obra

Alguns dados sobre a mão de obra rural em outros países:

**950.000**

O NÚMERO DE EMPREGOS FLORESTAIS NOS ESTADOS UNIDOS

Fonte: Forestry works

**55**

IDADE MÉDIA DE ALGUÉM NA INDÚSTRIA DE PRODUTOS FLORESTAIS

Emprego por idade

Grupo de idade	Média da Indústria (2021)	Média BC (2021)
15 - 24 anos	10%	13%
25 - 54 anos	59%	65%
55+ anos	31%	22%

Fonte: Canadian Labour Force Survey (2021)

Fonte: Governo da Austrália (2023)

## Agricultura, Silvicultura, Pesca



## INTRODUÇÃO

Qual é a importância das estradas rurais e florestais?

Dinamizam o crescimento de regiões rurais

✓ Facilitam/difícultam o acesso de bens e serviços

✓ Impactam o acesso e qualidade de vida da comunidade



## INTRODUÇÃO

Poeira e suspensão de partículas fugitivas

- Aumento do risco de acidentes (baixa visibilidade)
- Transtornos e aumento de problemas respiratórios

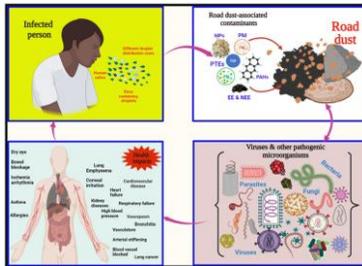


## Poeira e suspensão de partículas fugitivas

**Atmospheric Pollution Research**  
Volume 14, Issue 1, January 2023, 101642

**Transmission of viruses and other pathogenic microorganisms via road dust: Emissions, characterization, health risks, and mitigation measures**

Frimpong J. Alex <sup>a, b</sup>, Gangfeng Tan <sup>a</sup>, Sampson K. Kyel <sup>b</sup>, Prince O. Ansah <sup>b</sup>, Philip K. Agyeman <sup>a, c</sup>, Jamshid V. Fayzullayevich <sup>a</sup>, Isaac O. Oloyode <sup>a</sup>



**Fugitive Dust Particles May Affect the Impact of Coronavirus Around Unpaved Roads and Areas**

Robert Vitale  
CEO, Midwest Industrial Supply Inc.

5 de maio de 2020



## INTRODUÇÃO

**Qual é a importância das estradas rurais e florestais?**

Responsáveis por grande parte dos impactos ambientais na produção madeireira

✓ **Degradação do solo por processos de erosão**

✓ **Produção de sedimentos e degradação da qualidade hídrica**



## INTRODUÇÃO

### Erosão e produção de sedimentos em estradas florestais

Efeitos da colheita de madeira, construção de estradas e outros distúrbios florestais na produção de sedimentos por meio de deslizamentos.

Local	Tratamento	Produção (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /ano)
Siuslaw Forest, Oregon, USA	Natural	28
	Corte raso	111
	Estradas	3500
Andrews Forest, Oregon, USA	Natural	36
	Corte raso	139
	Estradas	1770
Olympic Mountains, WA, USA	Natural	72
	Estradas	11800
Coast Mountains, B.C., Canada	Natural	11
	Corte raso	24
	Estradas	282
San Dimas Forest, California, USA	Natural	7
	Queima	1907



Fonte: Neary & Hornbeck (1994)

## INTRODUÇÃO

### Erosão e produção de sedimentos em estradas florestais

Tabela 3. Valores de altura de chuva e de perdas de solo e água, em pinus de diferentes idades, campo nativo e estrada florestal, entre setembro de 2009 e janeiro de 2011, nos tratamentos estudados.

Table 3. Rain, rainfall and soil losses values in different ages of pinus, grassland and forestry roads, from September 2009 to January 2011.

Tratamento	Parcela	Altura de chuva mm	Perda de solo kg ha <sup>-1</sup>	Perdas de água	
				mm	% da chuva
Pi3a	5	2.103	08	06	0,3
CN	3	2.060	28	13	0,6
Pi26a	2	1.997	40	157	7,9
Pi10m	1	1.935	74	23	1,2
EF	4	2.103	22.000	928	44

Pi3a: pinus com três anos de idade; CN: campo nativo; Pi26a: pinus com 26 anos de idade; Pi10m: pinus com 10 meses de idade; EF: estrada florestal.



Fonte: Oliveira et al. 2014

# INTRODUÇÃO

## Erosão e produção de sedimentos em estradas florestais

**Tabela 3.** Perdas de solo em florestas de eucalipto em diferentes classes de solo e tipos de manejo

Município	Classe de Solo	Perdas médias de solo				Tolerância	
		EN	ED	ECM	FN		
		Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>					
1-Aracruz, ES	Argissolo	0,680	-	-	0,047	2,118	10
	Argissolo	0,606	-	-	0,042	1,000	13
	Argissolo	0,981	-	-	0,070	26,462	11
2 -Guanhães, MG	Latossolo	0,030	0,082	0,034	0,008	4,872	11
2- Belo Oriente, MG	Latossolo	0,058	0,099	0,490	0,068	17,417	7
3- Teixeira de Freitas, BA	Argissolo	0,059	-	-	0,001	13,811	-
	Espodossolo	0,005	-	-	0,002	12,578	-
4- Três Lagoas, MS	Latossolo	0,013	-	0,183	0,000	0,505	11
	Latossolo	0,000	0,065	0,853	0,153	0,335	9
5-Eldorado do Sul, RS	Argissolo	0,810	-	-	0,064	12,151	13

EN: Eucalipto plantado em nível; ED: Eucalipto plantado morro abaixo; ECM: Eucalipto sob cultivo mínimo; FN: Floresta nativa; SD: Solo descoberto. 1-(MARTINS et al. 2010b; OLIVEIRA et al. 2009; SILVA et al. 2010; SILVA et al. 2014; GUIMARÃES et al. 2013; CÂNDIDO et al. 2014; OLIVEIRA et al. 2013.

Fonte: Silva et al. (2015)

# INTRODUÇÃO

## Erosão e produção de sedimentos em estradas florestais

PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS  
(M<sup>3</sup> / ANO)

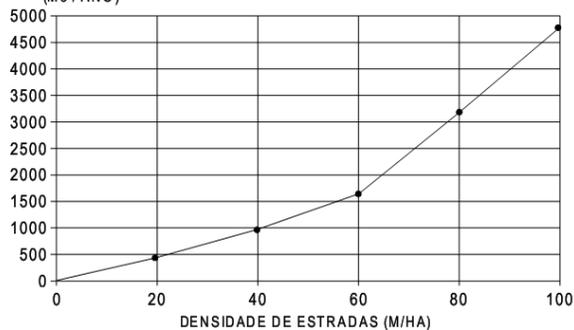


Figura 1

Produção de sedimentos em relação à densidade de estradas (Amimoto, 1978; citado por FAO, 1989).

Fonte: Seixas (1997)

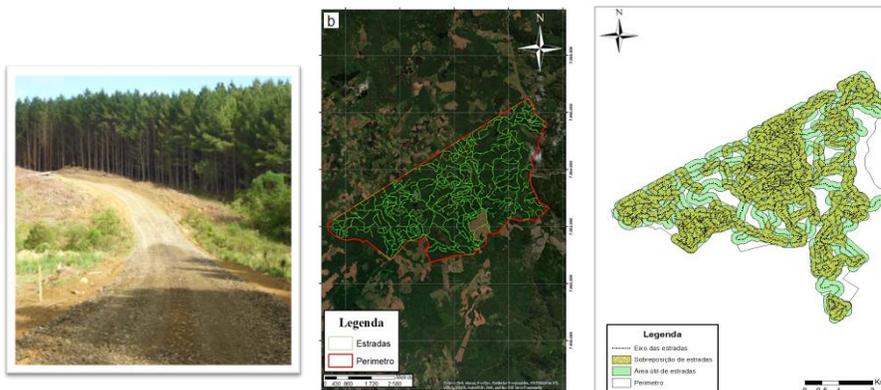


# INTRODUÇÃO

Então, dentre os desafios no manejo de estradas florestais, podemos destacar....

➤ Busca de novas soluções e métodos de planificação viária

*Design de rede viária de 40 anos atrás!*



# INTRODUÇÃO

Então, dentre os desafios no manejo de estradas florestais, podemos destacar....

➤ Adequação às novas necessidades logísticas

**Evolução das máquinas e veículos em operações florestais**



**Evolução do padrão de qualidade da construção e manutenção???**



## Tendências de pesquisa e desenvolvimento tecnológico para o planejamento, construção e conservação de estradas florestais

Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária

Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais

Estudo de materiais para construção e manutenção viária florestal

Testes de compostos para manejo e redução de poeira fugitiva

Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas



### ➤ Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária

Como seria a estrutura de um modelo automático para *design* de rede viária florestal?

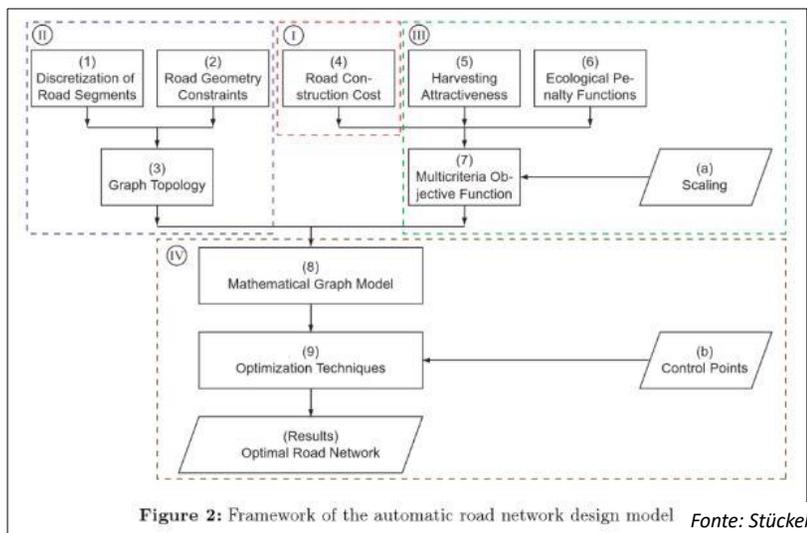


Figure 2: Framework of the automatic road network design model *Fonte: Stückelberger (2008)*

➤ **Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária**

Comparison of Forwarder Productivity and Optimal Road Density in Thinning and Clearcutting of Pine Plantation in Southern Brazil

**Características da floresta e manejo**

Stand characteristic	Type of operation	
	First thinning *	Clearcutting *
Age, years	11	10
Tree stocking, tree ha <sup>-1</sup>	1960	1920
Tree diameter breast height, cm	18.7	19.2
Tree total height, m	15.3	16.5
Basal area, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	55.9	59.1
Tree individual volume, m <sup>3</sup> ob tree <sup>-1</sup>	0.176	0.205
Volume harvested, m <sup>3</sup> ob ha <sup>-1</sup>	141.0	393.6

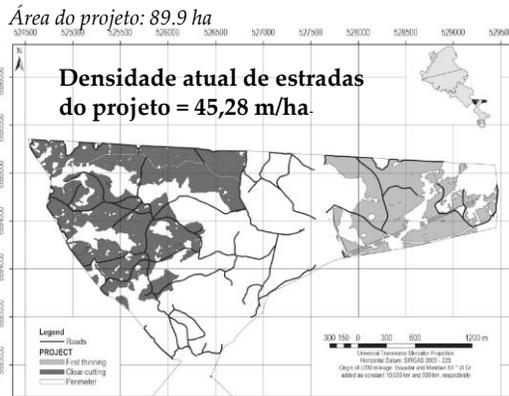
**Equipamento avaliado**

Forwarder 8x8 pneus, 415 kW, DME = 122 m



Estimativa da Densidade de Estradas Florestais

Metodologia: modelagem da produtividade, determinação de custos de extração e estradas estimativa da densidade economicamente ótima ao nível de projeto



Souza (2016)  
Sampietro et al. (2022)

➤ **Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária**

Comparison of Forwarder Productivity and Optimal Road Density in Thinning and Clearcutting of Pine Plantation in Southern Brazil

Souza (2016) / Sampietro et al. (2022)

**Resultados:**

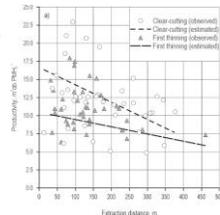
Variation factor	TE	LD	TDL	TL	MU	$P_{net}$
ED	26.81*	0.900 <sup>ns</sup>	3.329 <sup>ns</sup>	36.430*	0.213 <sup>ns</sup>	4.552*
SL	0.043 <sup>ns</sup>	3.635 <sup>ns</sup>	10.935*	1.553 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	5.990 <sup>ns</sup>
LV	0.054 <sup>ns</sup>	0.087 <sup>ns</sup>	9.689*	1.470 <sup>ns</sup>	1.122 <sup>ns</sup>	0.429 <sup>ns</sup>
OD	0.395 <sup>ns</sup>	0.148 <sup>ns</sup>	5.935*	0.343 <sup>ns</sup>	0.427 <sup>ns</sup>	0.405 <sup>ns</sup>
OT	2.092 <sup>ns</sup>	1.811 <sup>ns</sup>	19.971**	0.393 <sup>ns</sup>	2.539 <sup>ns</sup>	5.124*

Fitted equation

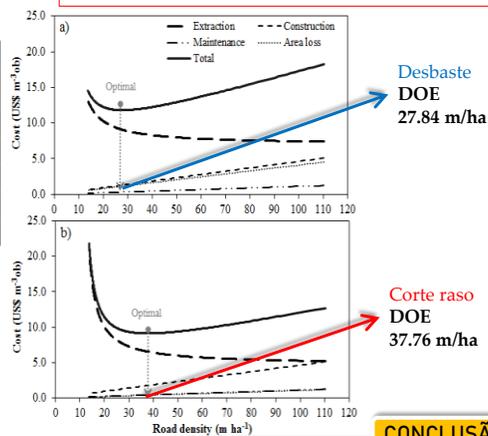
$$P_{net} = 19.95 - 0.010 ED - 2.44 \sqrt{SL} - 15.82 \sqrt{LV}$$

$$P_{net} = 18.99 - 0.024 ED - 0.04 SL^2$$

Modelagem da produtividade da extração



Estimativa da densidade ótima por minimização do custo total



**CONCLUSÃO**

➔ Aprimoramento do planejamento de estradas com redução de até 6% em custos totais e ganho de até 2% de área produtiva

## Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária

Forest road density for mechanized full tree harvesting system of pine plantations on flat and sloping site conditions

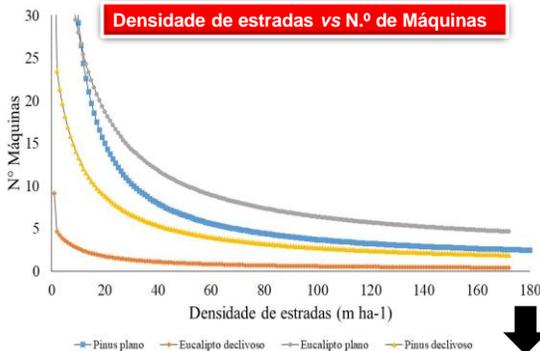
Estimativa da Densidade de Estradas Florestais

Sistema Próprio Full Tree Mecanizado Regime *pulpwood* 1666 árv/ha Idade de ±16 anos 0,53 m<sup>3</sup>/árv

Metodologia: determinação de **custos** de colheita e estradas para estimativa da **densidade economicamente ótima** e **densidade operacional** ao nível de **bloques de projetos**

### Condições de relevo

- Plano (até 10°)
- Declivoso (acima de 10°)



Capacidade de estocagem limitada



Densidade operacional

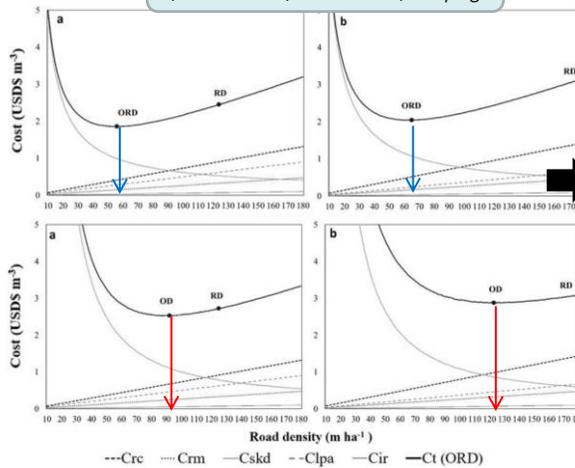
Farias (2020);  
Farias et al. (2022)

## Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária

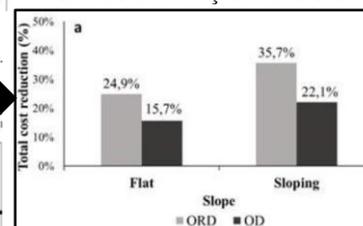
Forest road density for mechanized full tree harvesting system of pine plantations on flat and sloping site conditions

Resultados:

- Plano (até 10°) - Flat
- Declivoso (acima de 10°) - Sloping



➤ Ganhos em redução de custo total



### CONCLUSÃO

➔ Aprimoramento do planejamento de estradas em NÍVEL TÁTICO e OPERACIONAL com redução de 20% em custos totais e ganho de até 4% de área produtiva

Farias (2020); Farias et al. (2022)

## Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária

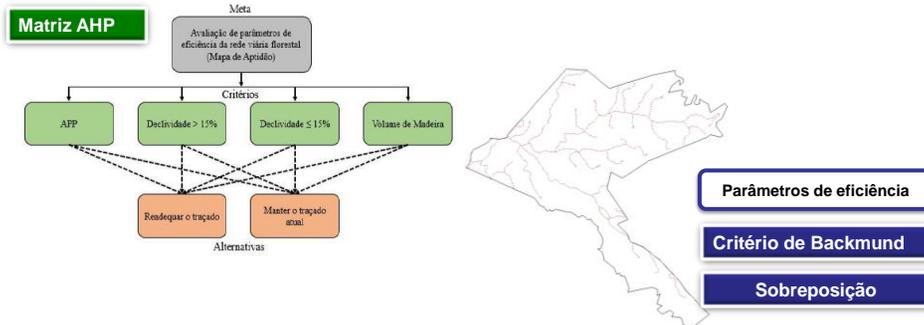
Avaliação de parâmetros de eficiência da rede viária florestal por meio de Processo Analítico Hierárquico e Critério de *Backlund* com uso de Sistema de Informação Geográfica.

Critérios e soluções para alocação do traçado das estradas

Metodologia: determinação de **critérios** utilizando o **algoritmo AHP** e **parâmetros de eficiência** com uso de **SIG** ao nível de projeto.

### Situações avaliadas

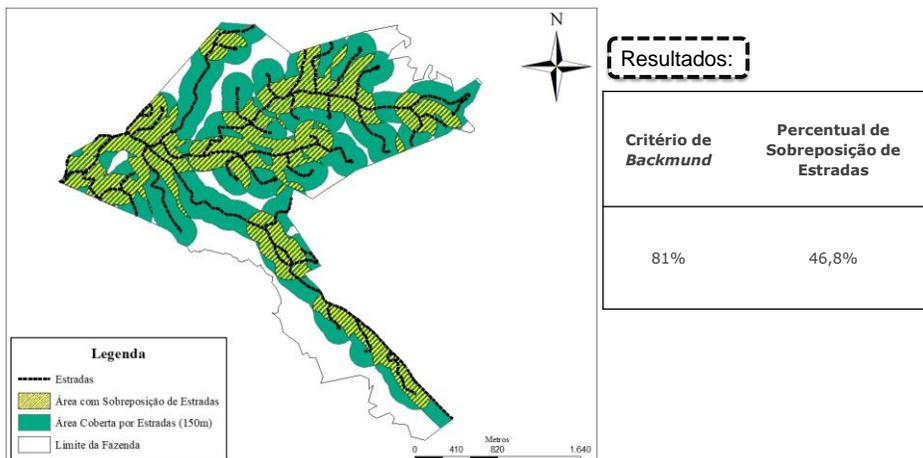
Declivoso (22°), DE = 58.2 m/ha, DME = 78 m



Barroso (2021)

## Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária

Avaliação de parâmetros de eficiência da rede viária florestal por meio de Processo Analítico Hierárquico e Critério de *Backlund* com uso de Sistema de Informação Geográfica.

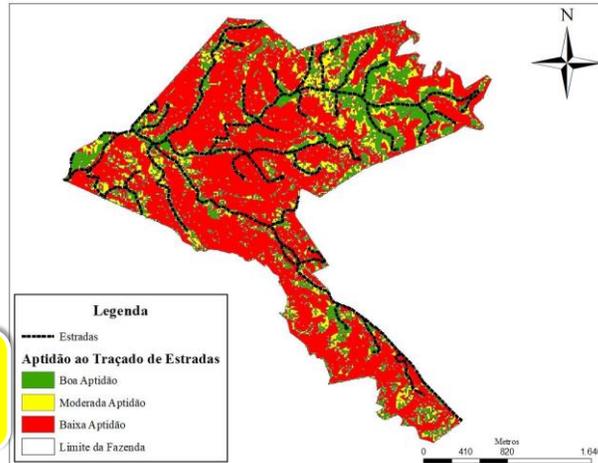
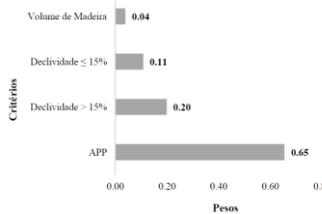


Barroso (2021)

## Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária

Avaliação de parâmetros de eficiência da rede viária florestal por meio de Processo Analítico Hierárquico e Critério de *Backlund* com uso de Sistema de Informação Geográfica.

### Resultados:



### CONCLUSÃO

→ Melhoria dos critérios para alocação de estradas e com possibilidade de aumento de até 20% na eficiência viária

Barroso (2021)

## Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária

### OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO GEOMÉTRICO DE ESTRADAS FLORESTAIS

Metodologia: determinação de **critérios** utilizando **metaheurística simulated annealing** junto ao uso de **SIG** visando minimizar o custo total viário.

#### Desenho de curvas horizontais vs restrição do terreno

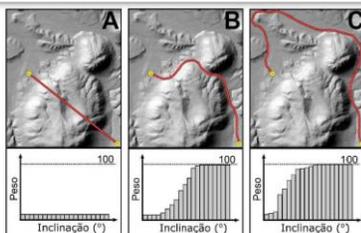


Figura 9. Influência do peso da inclinação do terreno na geração de traçados alternativos. (A) Pesos constantes e iguais a 1: representa a solução inicial e é o menos restritivo; (B); peso aumenta com o aumento da inclinação; (C) o peso aumenta mais ainda.

Marcati (2017)

### Critérios e soluções para alocação do traçado das estradas

#### Desenho de curvas verticais vs corte/aterro

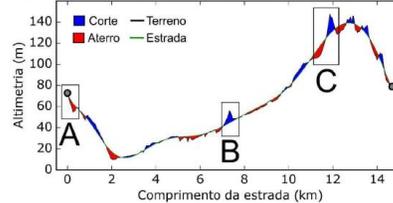


Figura 14. Destaque de trechos da estrada em que será necessário realizar obras de terraplenagem.

#### Iterações de otimização vs custos viários

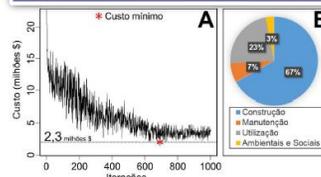
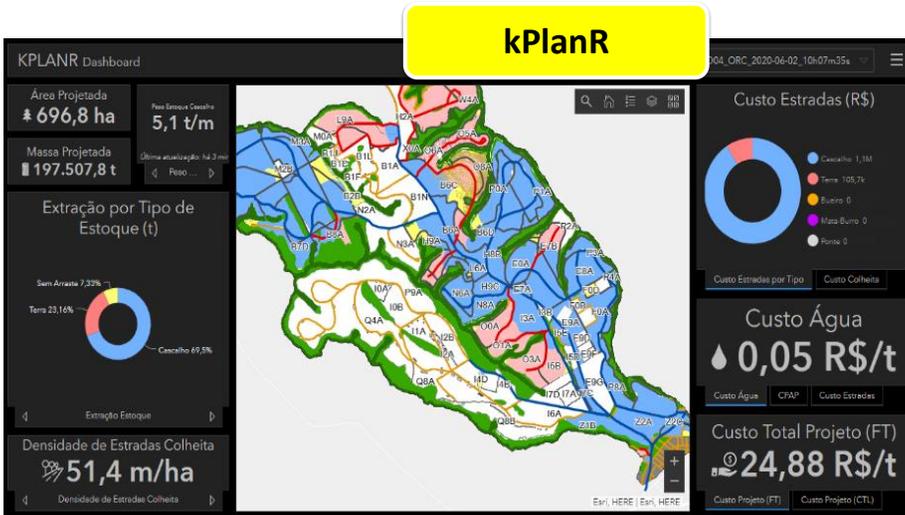


Figura 15. Alteração no valor da função objetivo com o decorrer das iterações do procedimento de otimização (A); distribuição dos custos referentes à solução de custo mínimo (B).

➤ **Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária**

**Outros exemplos**

- Simulação de cenários físicos e financeiros a partir restrições físicas

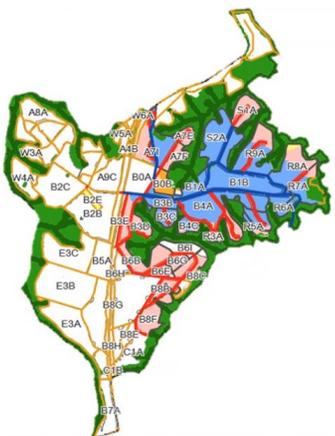


Fonte: Faria (2020)

➤ **Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária**

- Simulação de cenários físicos e financeiros a partir restrições físicas

**kPlanR**



**Azul:**  
Área/Volume de madeira no cascalho;

**Rosa:**  
Área/Volume de madeira na terra;

**Amarelo:**  
Área/Volume que não é possível extrair;

**Cinza:**  
Representa as estradas a serem desativadas;

**Laranja:**  
Representa a estradas que serão mantidas e não terão investimento neste ciclo.

Fonte: Faria (2020)

➤ **Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária**

**Exemplo**

**HDM-4**

- Seleção e priorização de atividades de manutenção e reabilitação
- Previsão em médio e longo prazo do desempenho da rede viária
- Estudo de ações como mudança no limite de carga por eixo e etc.

**Highway Development and Management (HDM-4)**

**Metodologia de Análise HDM-4**



**Exemplo**

**HDM-4**

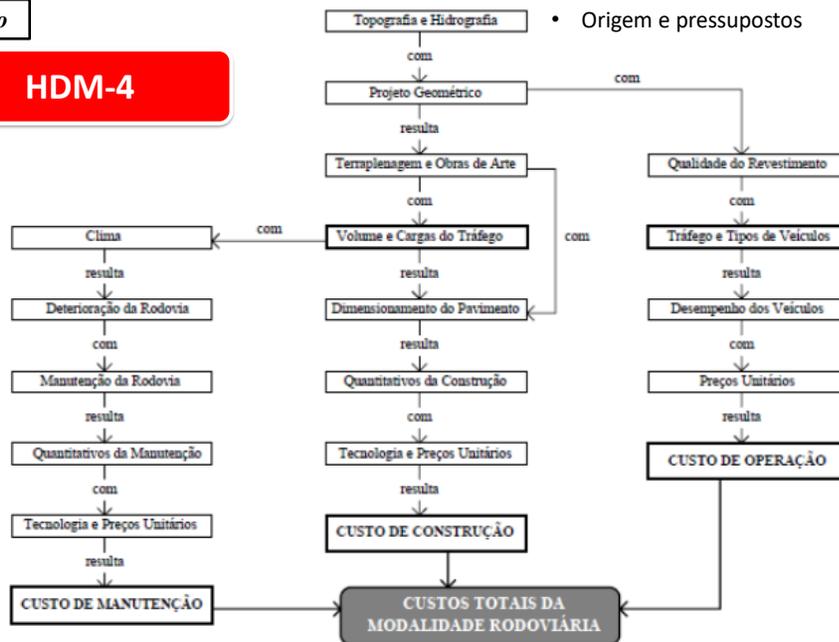


Figura 1 - Modelo de Custos Rodoviários desenvolvido pelo MIT em 1971 (GEIPOT, 1976).

Exemplo

• Exemplo de aplicação

**HDM-4**

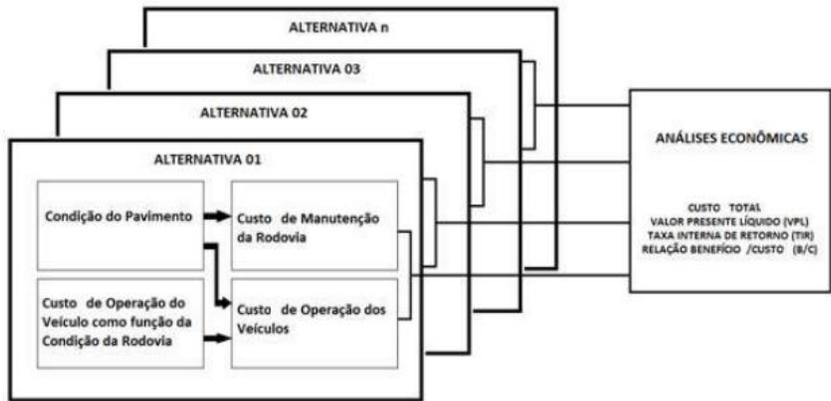


Figura 2 - Esquema das Análises Econômicas realizadas pelo HDM-4 (Adaptada de Kerali, 2000).

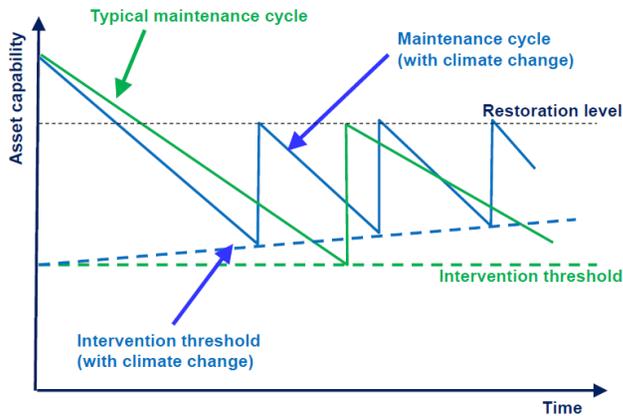
Exemplo

**HDM-4**

• Exemplo de aplicação

### Climate Change Adaptation

Influence of climate change on maintenance cycles



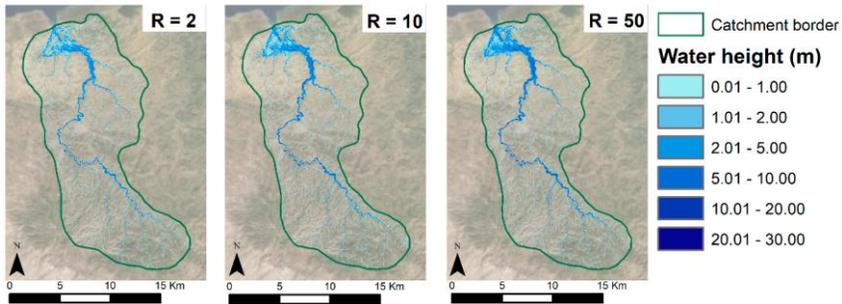
Based on the UK Agency Climate Change Adaptation Framework (2009)

➤ **Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária**

Exemplo

**LISEM**  
Limburg Soil Erosion Model

- Simulação do uso e a ocupação dos solos e estradas
- Simulação de impactos ambientais sobre os recursos solo e água

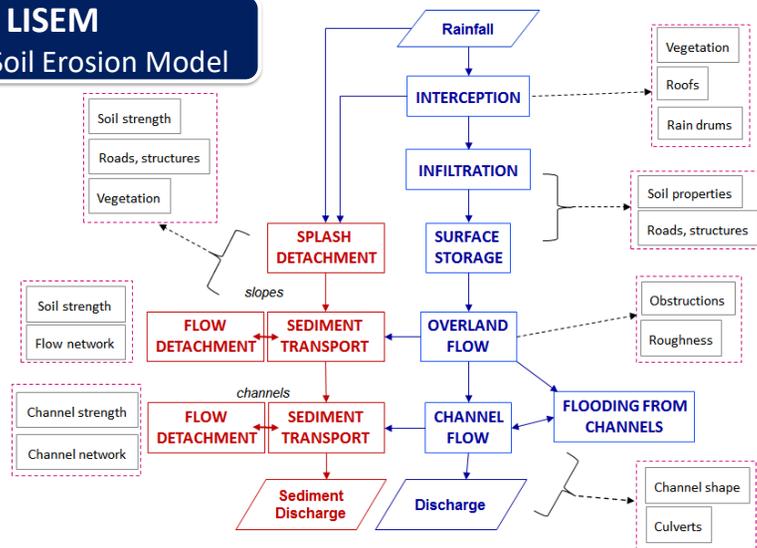


➤ **Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária**

Exemplo

**LISEM**  
Limburg Soil Erosion Model

- Pressupostos

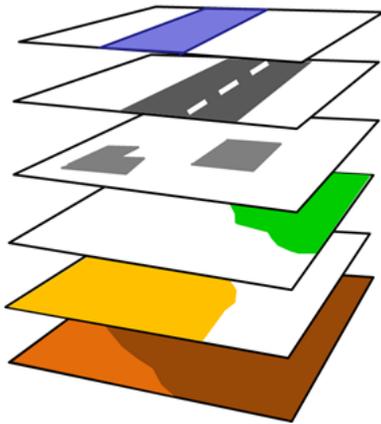


➤ **Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária**

Exemplo

**LISEM**  
Limburg Soil Erosion Model

- Pressupostos



Channel information:  
*Dimensions, flow network*

Road information:  
*Cover, flow resistance, impermeable*

Building information:  
*Cover, roof storage, raindrums*

Vegetation information:  
*Cover, canopy storage, flow resistance*

Soil structure:  
*Crusting, Compaction (infiltration)*

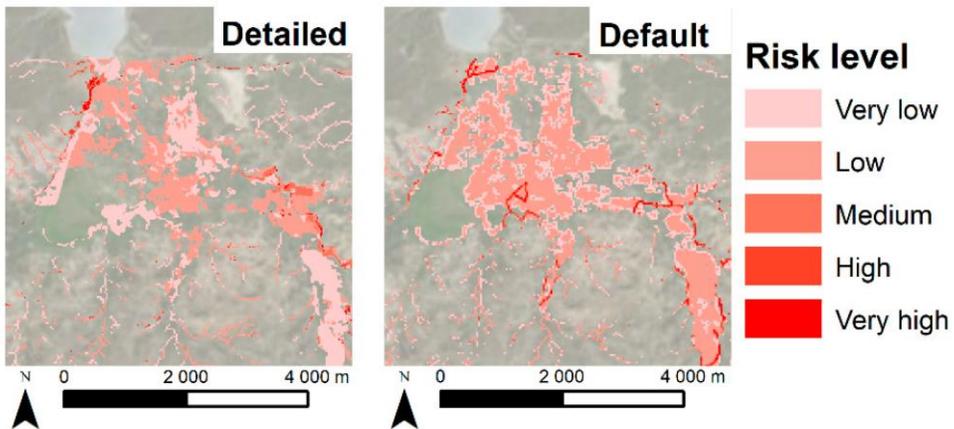
Soil physical information:  
*Ksat, porosity, suction, moisture content*

➤ **Soluções e melhores critérios para planejamento e alocação da rede viária**

Exemplo

**LISEM**  
Limburg Soil Erosion Model

- Exemplo de aplicação



➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

▶ **Compactador - PTH**



Fonte: [www.pthcruscher.com](http://www.pthcruscher.com)

- ✓ Terrenos difíceis;
- ✓ Adaptável no trator;

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

▶ **Nivelador + Compactador**



➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

▶ **Escarificador + Britador (PTH)**



Fonte: [www.pthruscher.com](http://www.pthruscher.com)

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

▶ **Escarificador + Britador (PTH)**



Fonte: [www.pthruscher.com](http://www.pthruscher.com)

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

➤ **Vibro Ripper**



Fonte: Friederichs (2015)

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

➤ **Vibro Ripper**



Fonte: Friederichs (2015)

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

➤ **Vibro Ripper**



Fonte: Friederichs (2015)

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

▶ **Niveladora para quadriciclo**



Foto: Ricardo Malinovski – Elmia Wood 2013

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

➤ **Máquinas multi-implementos**

- Multi mini-escavadeira

✓ *Espalhamento de material*



✓ *Britagem*



✓ *Regularização do leito*



➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

➤ **Máquinas elétricas**

- Escavadeira e mini-escavadeira



<https://www.komatsu.eu/en/electric-machines>

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

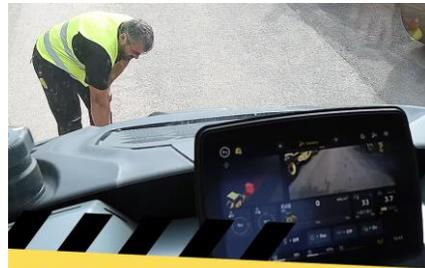
➤ **Máquinas inteligentes**

- Uso de sensores IoT e IA



<https://bomagmarini.com.br/>

- ✓ *Percepção de ambiente e controle semiautônomo*



<https://robdekon.de/>

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

➤ **Máquinas inteligentes**

- Uso de sensores IoT e IA



<https://www.komatsu.com>

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

➤ **Máquinas controladas remotamente**



<https://bomagmarini.com.br/>



<https://www.bobcat.com/>



<https://www.komatsu.com/>

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**



Soluções em Desenvolvimento

**Walking machines**

Hexapod Walk Machine



Walk Machine



Portalharvester



Lindroos et al. (2019)

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

Soluções em Desenvolvimento



<https://mr-technologies.com/>



**Teleoperação**



<https://www.komatsu.jp>

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

Soluções em Desenvolvimento

*Rolo compactador autônomo*



<https://www.wirtgen-group.com/>

**Máquinas autônomas**

*Escavadeira autônoma*



<https://novatron.fi/>

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

Soluções em Desenvolvimento

**Máquinas autônomas**

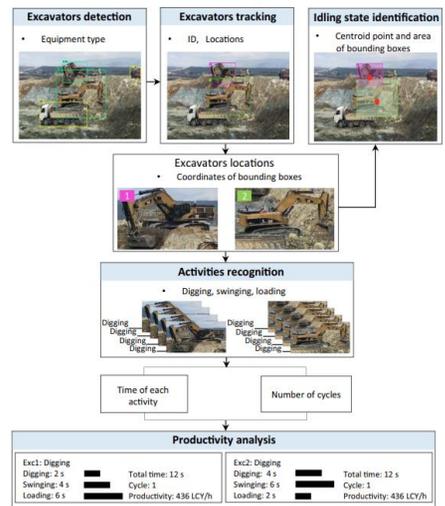
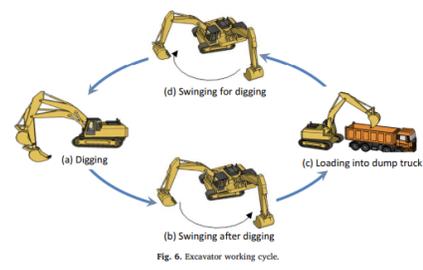


Fig. 1. Workflow of the proposed framework.

➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

Soluções em Desenvolvimento

**Veículos autônomos**

➤ Operações de transporte autônomas/robotizadas

Semi-autonomous truck platooning - Scania

Tesla Truck



➤ **Novas tecnologias operacionais para processos construtivos de estradas florestais**

➤ **Soluções em Desenvolvimento (Futuro?)**

➤ Robotização de operações

Atlas – Boston Dynamics



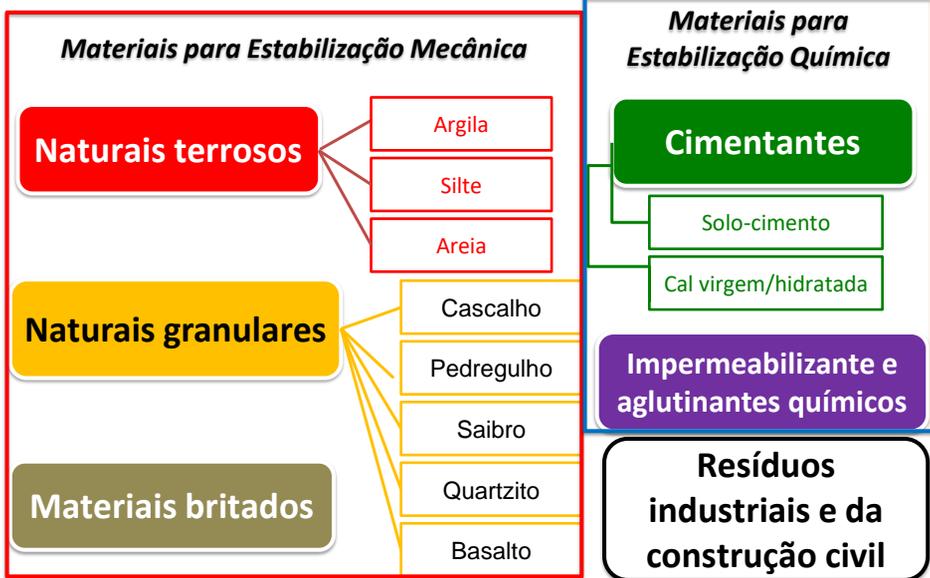
Será viável?  
Como? Quando?



LS3 – Boston Dynamics



➤ **Estudo de materiais para construção e manutenção de estradas florestais**



## Estudo de materiais para construção e manutenção de estradas florestais

ALTERNATIVAS PARA ESTABILIZAÇÃO DO PAVIMENTO DE ESTRADAS FLORESTAIS E CONSTRUÇÃO DE TRECHOS EXPERIMENTAIS

Vargas (2019)

Metodologia: determinação de **parâmetros mecânicos do solo** em laboratório e avaliação de **trechos experimentais**

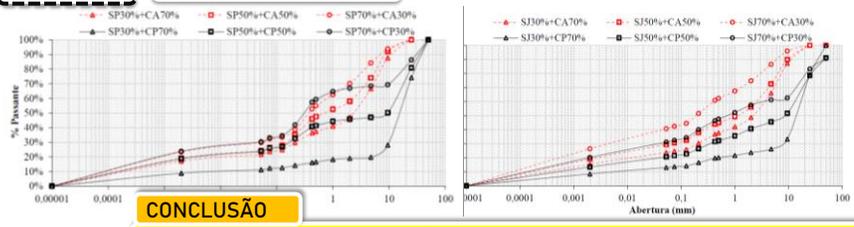
### Tratamentos (alternativas de estabilização)

- Solo Padrão (SP); Solo Jazida (SJ); Cascalho Padrão (CP); Cascalho Alternativo (CA) → Misturas de 30, 50, 70 e 85%
- Solo Padrão (SP) + Cimento CII (CM) → Misturas de 2, 4, 8 e 16% de produto
- Cascalho Padrão (CP); Pedrisco (PB) → Mistura de 80/20%

Análise	Norma DNER
Peneiramento	051/94
Sedimentação	080/94
Limite de liquidez	122/94
Limite de plasticidade	082/94
Classificação TRB	-
Classificação USCS	-
Ensaio Proctor	129/94
Ensaio CBR	049/94



### Resultados: Curva granulométrica



### CONCLUSÃO

→ Aprimoramento dos critérios de seleção de materiais e de estudo de alternativas para construção de estradas florestais (solo-brita e solo-cimento)

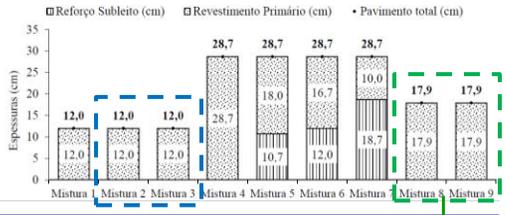
## Estudo de materiais para construção e manutenção de estradas florestais

ALTERNATIVAS PARA ESTABILIZAÇÃO DO PAVIMENTO DE ESTRADAS FLORESTAIS E CONSTRUÇÃO DE TRECHOS EXPERIMENTAIS

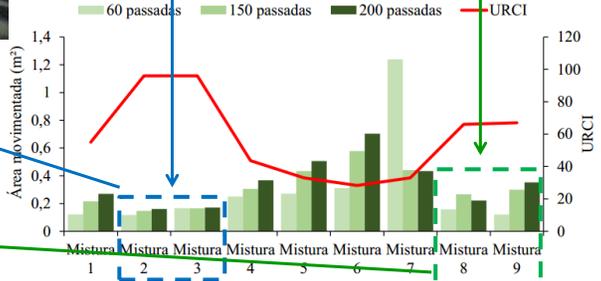
### Resultados: Tratamentos (testes em trecho experimental)

#### Misturas Testadas como Revestimento

- Revestimento padrão da empresa
- 7. Misturas de materiais para Estabilização Mecânica
- 8- 9. Estabilização química do Subleito + estabilização mecânica p/ revestimento



### Deformação e Índice de Condição de Rodovia



### CONCLUSÃO

Misturas com melhor granulometria Melhor resultado (redução de até 40% de material rochoso)

Misturas com estabilização química do subleito 2º Melhor resultado (redução de até 30% de material rochoso)

Vargas (2019)

## Estudo de materiais para construção e manutenção de estradas florestais

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UM SOLO TRATADO COM ESTABILIZANTES QUÍMICOS PARA PAVIMENTO DE ESTRADA FLORESTAL

Metodologia: determinação de parâmetros físico e mecânicos do solo e avaliação de trechos experimentais



### Testes

Tratamentos	Princípio ativo
Produto A	Óleos e resinas vegetais
Produto B	Açúcares e enzimas
Produto C <sub>5</sub>	Açúcares e enzimas
Produto D	Sais e polímeros orgânicos
Produto E <sub>3</sub>	Cal calcítica
Produto F	Zeólito sintético
Cal <sub>12</sub>	Cal dolomítica
Cimento <sub>2</sub>	Clinker + gesso + escória

### Resultados:

#### Granulometria

Tratamento	n	Areia (%)			Argila (%)			Silte (%)		
		Média	Desvio	CV (%)	Média	Desvio	CV (%)	Média	Desvio	CV (%)
Solo puro	40	31,18	1,91	6,13	34,98	3,14	8,97	34,05	3,28	9,64
Produto A		31,57a	0,53	1,67	32,59d	1,06	3,26	35,83bc	1,57	4,38
Produto B		43,10bc	8,18	18,98	23,85bc	5,98	25,07	33,05bc	8,55	25,86
Produto C <sub>5</sub>		35,15a	1,91	5,42	26,86c	4,40	16,38	37,99bc	2,74	7,21
Produto D										
Produto E <sub>3</sub>	4	36,56a	3,95	10,80	25,57c	6,93	27,09	37,88bc	10,80	9,45
Produto F		65,49f	7,75	11,83	5,48a	4,49	81,88	29,02b	29,02	11,90
Cal <sub>12</sub>		48,49c	3,75	7,73	12,91b	0,11	0,86	38,60bc	3,72	9,63
Cimento <sub>2</sub>		56,54de	15,47	27,35	4,73a	2,18	46,16	38,72bc	14,43	37,26
		40,35b	6,01	14,90	18,36bc	11,98	65,29	41,29c	7,92	19,18

## Estudo de materiais para construção e manutenção de estradas florestais

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UM SOLO TRATADO COM ESTABILIZANTES QUÍMICOS PARA PAVIMENTO DE ESTRADA FLORESTAL

Avaliação de materiais e técnicas de pavimentação

### Trecho experimental

### Testemunha

~70 cm de deformação do pavimento

### Resultados:



Tratamento	DN (mm/golpe)	AM (m <sup>2</sup> )	TR (m <sup>2</sup> )
Solo puro (testemunha)	49,31c	0,31f	0,0133d
Produto B (açúcares e enzimas)	33,59b	0,27e	0,0094c
Produto C <sub>5</sub> (açúcares e enzimas)	36,31b	0,14c	0,0025a
Produto C <sub>10</sub> (açúcares e enzimas)	49,49c	0,23d	0,0046b
Produto E <sub>2</sub> (cal calcítica)	<b>19,50a</b>	0,08b	0,0018a
Produto E <sub>3</sub> (cal calcítica)	20,75a	<b>0,06a</b>	0,0017a
Cal <sub>4</sub> (cal dolomítica)	22,92a	0,11c	0,0038b
Cal <sub>8</sub> (cal dolomítica)	22,70a	0,14c	0,0036b
Cimento <sub>2</sub> (Portland CP II)	33,36b	0,12c	0,0016a
Cimento <sub>4</sub> (Portland CP II)	27,86b	<b>0,06a</b>	<b>0,0005a</b>



### CONCLUSÃO

→ Ampliação das alternativas de materiais para construção e aumento da vida útil de estradas

Vargas (2021)

# Estudo de materiais para construção e manutenção de estradas florestais

## ALTERNATIVAS PARA ESTABILIZAÇÃO DO PAVIMENTO DE ESTRADAS FLORESTAIS E CONSTRUÇÃO DE TRECHOS EXPERIMENTAIS

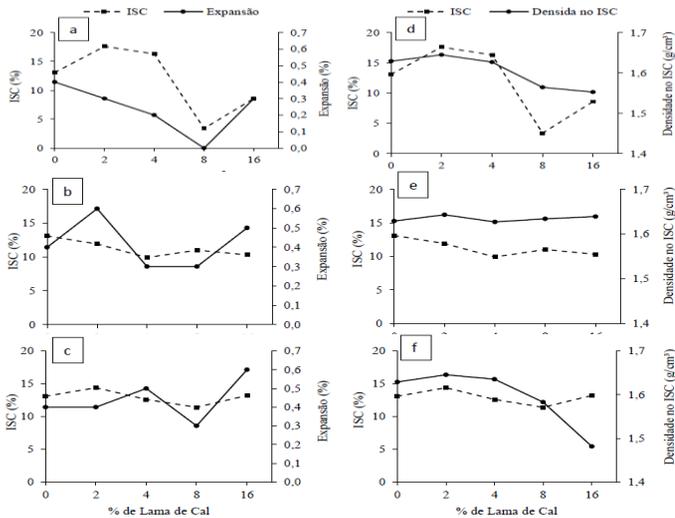
Avaliação de materiais e técnicas de pavimentação

### Resultados: ISC e compactação em energia intermediária

Metodologia: determinação de parâmetros mecânicos do solo em laboratório

#### Tratamentos

- a) Dregs: 2, 4, 8 e 16%
- b) Grits: 2, 4, 8 e 16%
- c) Lama de cal: 2, 4, 8 e 16%



# Testes de compostos para manejo e redução de poeira fugitiva

## Principais compostos supressores de poeira

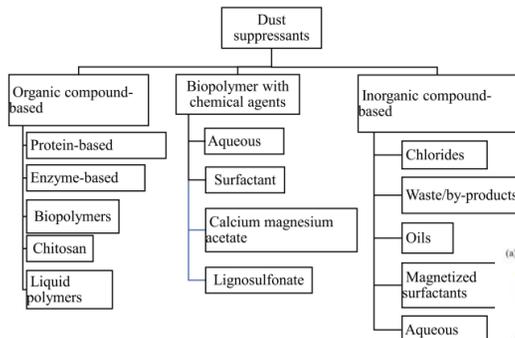


Figure 2. Flow chart of different classes of dust suppressants.

Parvej et al. 2021

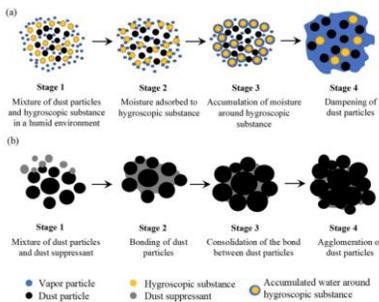
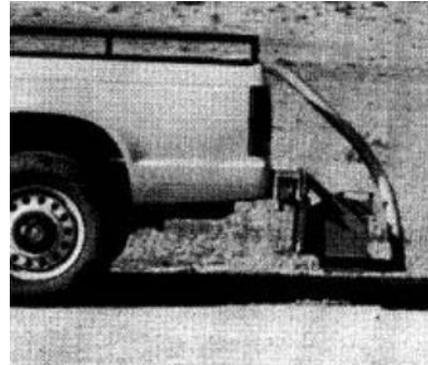
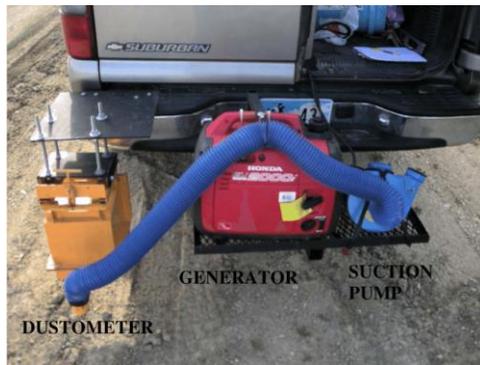


Figure 1. Schematic of dust suppression mechanisms: (a) hygroscopicity and (b) agglomeration.

➤ Testes de compostos para manejo e redução de poeira fugitiva

✓ Avaliação da poeira total em suspensão



Fonte: Addo e Sanders (2000)

➤ Testes de compostos para manejo e redução de poeira fugitiva

Trabalho de Huang et al (2020)

Poeira total → 96,89%,

Poeira respirável → 86,24%

Componente químico	Tipo	Faixa de concentração
Poliacrilato de sódio	Aglutinante	0,08-0,1%
Carbonato de sódio	Agente higroscópico	10-20%.
Polietilenoglicol	Umectante	1,5-2%
Alquil glicosídeo	Surfactante	0,1-0,2%.



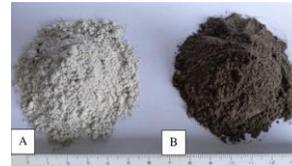
## ➤ Testes de compostos para manejo e redução de poeira fugitiva

### COPRODUTOS INDUSTRIAIS COMO ALTERNATIVA NA ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS E CONTROLE DE POEIRA EM ESTRADAS RURAIS

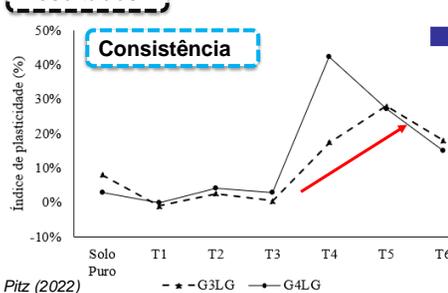
Metodologia: análises físicas e mecânicas do solo em laboratório

#### Tratamentos

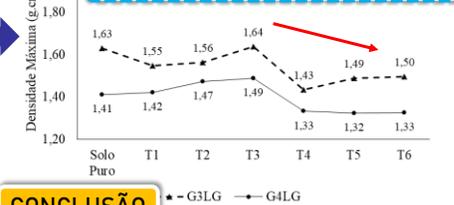
Tratamento	Descrição
T1	Solo Local + 15% Areia de Leito Fluidizado + 5% Cal
T2	Solo Local + 15% Areia de Leito Fluidizado + 5% Lama de Cal
T3	Solo Local + 15% Areia de Leito Fluidizado + 5% Grits
T4	Solo Local + 15% Areia de Leito Fluidizado + 5% Cal + 0,5% Poliacrilato de Sódio + 1% de Goma Xantana
T5	Solo Local + 15% Areia de Leito Fluidizado + 5% Lama de Cal + 0,5% Poliacrilato de Sódio + 1% de Goma Xantana
T6	Solo Local + 15% Areia de Leito Fluidizado + 5% Grits + 0,5% Poliacrilato de Sódio + 1% de Goma Xantana



#### Resultados:



#### Compactação em energia normal



#### CONCLUSÃO

➔ Possibilidade de uso de materiais alternativos para construção de estradas com redução de impactos ambientais e sociais

Pitz (2022)

## ➤ Testes de compostos para manejo e redução de poeira fugitiva

### ✓ Principais resíduos com potencial para teste

Resíduo	Origem	Autor	Potencial	Efeitos no Solo
Glicerina Suja	Coproducto da produção de biodiesel	Medeiros, Leite e Lago (2012)	Umectante	Já foi testado como supressor de poeira
Escória	Siderurgia	Velten et al. (2006) e Geyer, (2001) apud Branco, (2004)	Propriedades aglomerantes	↑ da resistência mecânica
Cinza de Casca de Arroz	Produção de arroz	Lacerda (2019) e Freitas (2017)	Propriedades aglomerantes	↑ aumento da absorção de água (↑ da umidade ótima)
Pó de cerâmicas	Produção de cerâmicas	Sales e Alferes (2014) e Maschio (2019)	Pode ser usado em substituição ao cimento/propriedades aglomerantes	↑ da resistência a compressão
Polímero super absorvente	Produção de fraldas	Koppe (2016)	Agente higroscópico	↑ absorção de água

Pitz (2022)

## ➤ Testes de compostos para manejo e redução de poeira fugitiva

### ✓ Principais resíduos com potencial para teste

Resíduo	Origem	Autor	Potencial	Efeitos no Solo
Lama de Cal (Cloreto de Cálcio)**	Processo Kraft	Vargas (2019), Edvardsson (2010)	-	Testada em conjunto com lignosulfonato na supressão de poeira
Dregs	Processo Kraft	Vargas (2019)	Propriedades aglomerantes	↑ dos índices de plasticidade
Grits	Processo Kraft	Vargas (2019), Sant' Anna (2006)	-	↓ nos índices de plasticidade, ↓ deformação
Lignosulfonatos	Processo Sulfito	Breum et. al (1999)	Propriedades aglomerantes	Testado como supressor de poeira
Carbonato de Sódio (licor verde clarificado)	Processo Kraft	Huang et. al (2020)	Componente higroscópico	Testado como supressor de poeira

\*\*  $\text{HCl} + \text{CaCO}_3 = \text{CaCl}_2$

Pitz (2022)

## ➤ Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas

### Drenagem superficial com desvios de correias transportadoras



Fonte: USDA (2012)

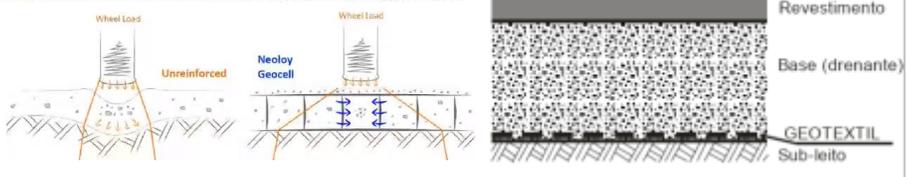
➤ **Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas**

**Drenagem subterrânea com uso geotêxtil/geocelula**



➤ **Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas**

**Drenagem subterrânea com uso geotêxtil/geocelula**



➤ **Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas**

**Melhoria de drenagem subterrânea com fardos de pneus**



- ✓ *Reduz problemas crônicos de estradas encaixadas*

Fonte: USDA (2012)



➤ **Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas**

**Novos tipos de materiais**

Vargas (2016)

**Tubos metálicos**



**Tubos pead**



- ✓ *Maior facilidade e segurança na instalação*



➤ **Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas**

Suzano (2023)

**Ponte móvel**

- ✓ *Locais com leitos de água, tráfego temporário*



➤ **Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas**

**Interceptores para controle de erosão**



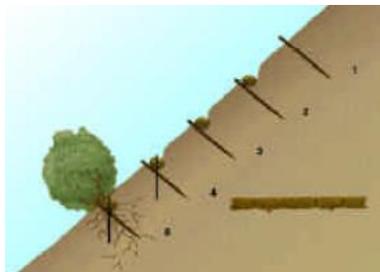
➤ **Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas**

**Outras medidas para controle de erosão**

“Revegetação” de taludes



Uso de lâminas de madeira



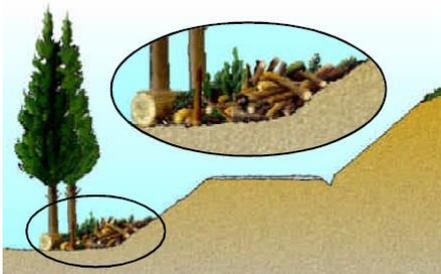
Troncos e bioengenharia

*Fonte: Gayoso e Alarcón (1999)*

➤ **Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas**

**Outras medidas para controle de erosão**

Uso de materiais e minerais em taludes



*Fonte: Gayoso e Alarcón (1999)*

Hidrosemeadura de taludes



<https://verdetec.com/>

➤ **Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas**

**Distanciamento Recomendado entre camalhões e bueiros**

**Tabela 7.1**  
**Distância Máxima Recomendada Entre Declives Ondulados ou Drenagens Transversais de Bueiro (metros)**

Declive da estrada %	Solos com erosão	
	baixa a nula (1)	Solos erosivos (2)
0-3	120	75
4-6	90	50
7-9	75	40
10-12	60	35
12+	50	30

Fonte: Keller e Sherar (2010).

➤ **Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas**

**EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ESTRADAS FLORESTAIS QUANTO À EROSÃO HÍDRICA**

Dacoregio (2017); Dacoregio et al. (2019)

Regime *pulpwood* - 1666 árv/ha Idade de ±5 anos

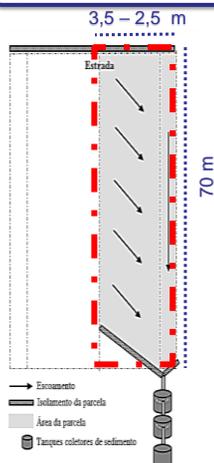
**Condições de pavimentação e declividade**

Cascalhada (11 a 29°)

Metodologia: determinação da erosão pela **perda de água e solo pelo método da parcela padrão**

**Tratamentos:**

- I. Duas saídas de água + camalhão com bigode
- II. Duas saídas de água + dois bigodes 'dissipador'
- III. Testemunha (padrão da empresa)



**Camalhão**  
 Base – 10 metros  
 Altura – 0,5 metros



**Bigode**

Cascalhada  
4,2 m³  
Chão  
8,1 m³



**Saída d'água**

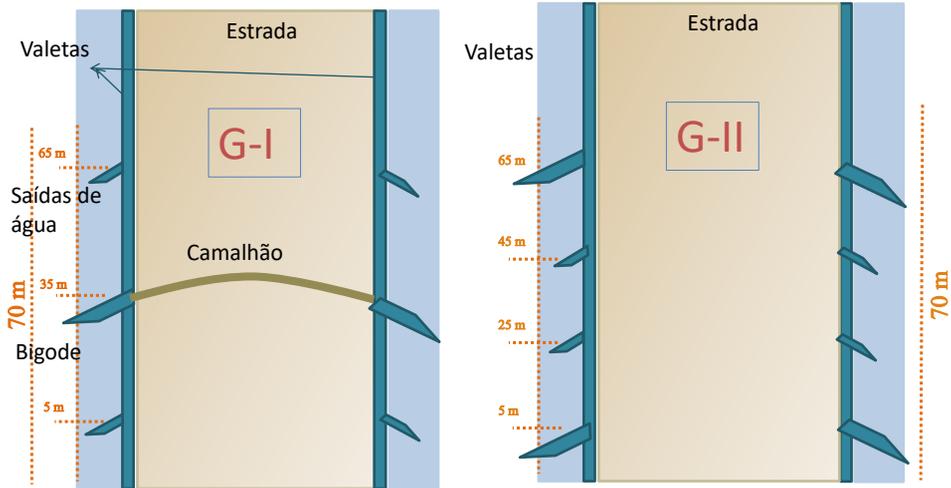
Cascalhada  
2 m³  
Chão  
3 m³



➤ **Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas**

**Esquema dos Tratamentos na Estrada Cascalhada**

Fonte: Dacoregio et al. (2019)



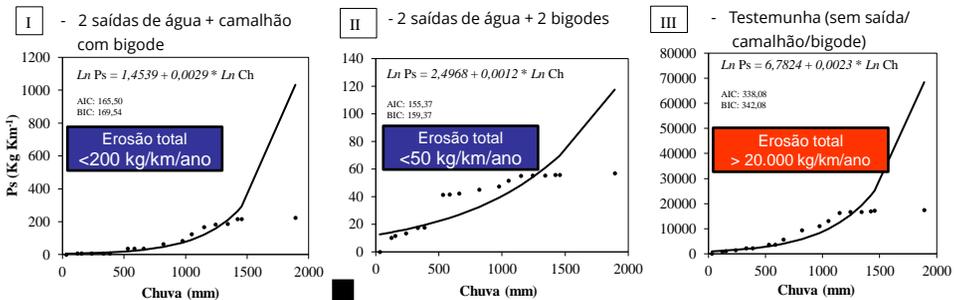
➤ **Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas**

**EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ESTRADAS FLORESTAIS QUANTO À EROSÃO HÍDRICA**

**Resultados:**

**Condições de pavimentação e declividade**

Cascalhada (11 a 29°)



Tratamento	Capacidade de armazenamento (m³)		Eficiência perdida (%)
	2016	2017	
I	9,00	7,15	21%
II	11,37	9,40	17%
III	*	*	*

**CONCLUSÃO**

➔ **Redução** de problemas de erosão em até 95% e melhoria das práticas de construção e conservação de estradas florestais

Dacoregio (2017); Dacoregio et al. (2019)

## ➤ Novas soluções e alternativas para drenagem e conservação das estradas

CARACTERIZAÇÃO DE MICROBACIAIS, DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO,

Vargas (2016)

CUSTOS E ORÇAMENTO DE OBRAS DE DRENAGEM PARA ESTRADAS

Metodologia: cálculo da **vazão máxima de pico** e **dimensionamento hidráulico** de bueiros e galerias

**Vazão da bacia**

$$Q = 0,28 * C * I * A * \emptyset$$

Onde: 0.28 = Constante; C = Coeficiente de deflúvio definido em função da declividade; I = Intensidade média de chuva em mm/h; A = Área em Km<sup>2</sup>;  $\emptyset$  = Coeficiente de retardo.



Resultados:

Área (Km <sup>2</sup> )	6,4
Declividade média (%)	28,980
<b>Q<sub>max</sub></b>	<b>17,42</b>

**Dimensionamento hidráulico**

$$Q = A * Rh^{2/3} * \sqrt{\frac{I}{n}}$$

Onde: Q = vazão máxima em metros cúbicos por segundo; A = área molhada em metros quadrados; Rh = raio hidráulico em metros; I = Inclinação do tubo (utilizou-se 1% para ambos os materiais); n = coeficiente de rugosidade de Manning (n) tabelado em função do produto de



Tipo de bueiro:	PEAD e PVC	Metálicos circular
Nº	2	2
<b>Q</b>	<b>18,9</b>	<b>20,4</b>
Tipo de galeria:	Galerias Concreto	
Nº	1	
<b>Q</b>	<b>19,2</b>	



**CONCLUSÃO**

→ Estabelecimento de critérios e metodologia para instalação de obras de drenagem, prevenção de problemas de acesso em condições climáticas extremas e redução de impactos ambientais

## CONSIDERAÇÕES SOBRE O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E GESTÃO DE ESTRADAS FLORESTAIS

Rede rodoviária florestal de **BAIXO PADRÃO TÉCNICO**:

Falta de planejamento e de classificação de estradas

Escassez e desconhecimento de métodos de planificação

Inexistência de normas e métodos de elaboração/execução de projetos

Falta de investimento

Aplicação inadequada de recursos

Dentre outros

## CONSIDERAÇÕES SOBRE O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E GESTÃO DE ESTRADAS FLORESTAIS

Não podemos esquecer do principal **FATOR-CHAVE** na Inovação e Implementação de Novas Tecnologias:



As  
pessoas!

“Uma das maiores dificuldades em obter a cooperação ativa na implementação de novas tecnologias é o medo de que o aumento da produtividade resultará em desemprego”

KANAWATY (1992)

Por isso, deve haver participação e conscientização de **TODOS** dentro da hierarquia operacional para, então, a **inovação** seja tratada como um **VALOR**

Isso significa que:

Não deve ser **tolerado** qualquer forma de desperdício (material, tempo, esforço ou habilidade humanas)

KANAWATY (1992)

Não deve ser **aceito** sem questionamentos, que as coisas devam ser realizadas de determinada maneira “**porque essa é a maneira que sempre fizemos**”.

Tudo o que pode ser inventado já o foi.



Diretor do departamento de patentes dos Estados Unidos, em 1899, solicitando que sua repartição fosse abolida porque achava que não havia mais nada para inventar.

*"As ideias custam centavos a dúzia. As pessoas que as põem em prática não têm preço".*

-A. Einstein

**Grato pela  
atenção!**



**Prof. Jean Alberto Sampietro**  
**+55 49 3289 9312 / 9 9811 37 55**  
[jean.sampietro@udesc.br](mailto:jean.sampietro@udesc.br)