



CERNE

ISSN: 0104-7760

cerne@dcf.ufla.br

Universidade Federal de Lavras

Brasil

Stolle, Lorena; Lingnau, Christel; Arce, Julio Eduardo; Bognola, Itamar Antonio  
Simulação do impacto das atividades florestais na fragilidade potencial em plantios de Pinus  
CERNE, vol. 18, núm. 4, outubro-diciembre, 2012, pp. 683-693  
Universidade Federal de Lavras  
Lavras, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74424807019>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# SIMULAÇÃO DO IMPACTO DAS ATIVIDADES FLORESTAIS NA FRAGILIDADE POTENCIAL EM PLANTIOS DE PINUS

Lorena Stolle<sup>1</sup>, Christel Lingnau<sup>2</sup>, Julio Eduardo Arce<sup>3</sup>, Itamar Antonio Bognola<sup>4</sup>

(recebido: 23 de novembro de 2010; aceito: 31 de agosto de 2012)

**RESUMO:** Este trabalho, realizado em uma área com povoamento de *Pinus taeda*, teve por objetivo simular e mapear a influência do valor de impacto das atividades florestais na fragilidade potencial. Variáveis do solo, de declividade do terreno, valor de impacto e de cobertura vegetal foram utilizadas para gerar os mapas. Os resultados expressos pelo modelo adotado mostraram que as áreas mais frágeis apresentam em sua maioria declividades superiores a 75 % e textura que variam de arenosa a média, e as áreas menos frágeis apresentam predominantemente relevo plano (até 3 %) e textura argilosa. Quando simulado o impacto das atividades florestais sobre esse ambiente, verificou-se que na maior parte da área (78 %) todas as atividades florestais podem ser realizadas sem influência na degradação do meio ambiente e para algumas áreas (11 %) o ambiente foi considerado menos frágil, em razão da presença de cobertura vegetal.

Palavras-chave: *Ecosystem Management Decision Support*, solos florestais, lógica fuzzy.

## SIMULATION AND MAPPING OF FOREST ACTIVITIES IMPACT ON THE POTENTIAL FRAGILITY OF *Pinus taeda* STANDS

**ABSTRACT:** This work was undertaken in a *Pinus taeda* stand. It was aimed to simulate and to map the influence of the impact of forestry activities on the potential fragility of soil. The soil, slope, impact value and vegetal coverage were considered to generate the maps. The results showed that the areas with the highest potential fragility, have slopes greater than 75 % and texture ranging from sandy to loam. The least fragile areas have predominantly flat topography (up to 3 %) and clayey texture. When the impact of forestry activities was simulated, it was found that in most of the area (78 %) all forest activities can be performed without significantly degrading the environment. For some areas (11 %), with respect to the potential fragility, the environment was considered less fragile due to the presence of vegetation cover.

Key words: *Ecosystem Management Decision Support*, forest soils, fuzzy logic.

### 1 INTRODUÇÃO

A degradação do ambiente pela pressão das atividades humanas é atualmente uma preocupação para a manutenção dos recursos ambientais. A supressão ou substituição da cobertura vegetal nativa para a implantação de novos empreendimentos em conjunto com técnicas de manejo inadequadas, causam um rompimento do equilíbrio existente em um ambiente natural, tornando-o mais susceptível à degradação.

A susceptibilidade à degradação pode ser entendida como fragilidade ambiental, sendo citada em vários estudos (ROSS, 1994; SANTOS, 2005). Para os mesmos autores, a fragilidade ambiental pode ser

caracterizada como potencial, quando se refere à fragilidade intrínseca do meio, considerando variáveis como: classe de solo, declividade e geomorfologia, e emergente, quando são inseridas variáveis do uso do solo, incluídas as atividades realizadas pelo homem, ou seja, variáveis modificadoras do ambiente em sua forma natural, como áreas de agricultura e pecuária.

A maioria dos trabalhos existentes de mapeamento de fragilidade ambiental adota uma metodologia simples de cruzamentos de mapas. A representação rígida da classificação *booleana*, normalmente utilizada nesses cruzamentos efetuados nas operações de manipulação em SIG (Sistemas de Informações Geográficas) resulta em informações não confiáveis (MEIRELLES, 1997).

<sup>1</sup>Engenheira Florestal, M.Sc. em Engenharia Florestal – Av. Seis, 1.161 B – 79560-000 – Chapadão do Sul, MS, Brasil – lorenastolle@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Engenheira Florestal, Professora Doutora em Engenharia Florestal – Universidade Federal do Paraná/UFPR – Setor de Ciências Agrárias – Departamento de Ciências Florestais – Av. Lothário Meissner 900 – 80210-170 – Curitiba, PR, Brasil – lingnau@ufpr.br

<sup>3</sup>Engenheiro Florestal, Professor Doutor em Engenharia Florestal – Universidade Federal do Paraná/UFPR – Setor de Ciências Agrárias – Departamento de Ciências Florestais – Av. Lothário Meissner 900 – 80210-170 – Curitiba, PR, Brasil – jarce@ufpr.br

<sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Doutor em Engenharia Florestal – EMBRAPA Florestas – Estrada da Ribeira km 111 – Cx. P. 319 – 83411-000 – Colombo, PR, Brasil – iabog@cnf.embrapa.br

A teoria *fuzzy* permite avaliar o espaço continuamente e não por meio de limites rígidos, oferecendo uma maior flexibilidade na modelagem de dados ambientais e uma maior proximidade aos dados reais observados em campo (MEIRELLES, 1997; SILVA, 2005).

Neste trabalho, propõe-se simular e mapear a influência do impacto das atividades florestais na fragilidade potencial em uma área com plantio de *Pinus taeda* L.

## 2 MATERIALE MÉTODOS

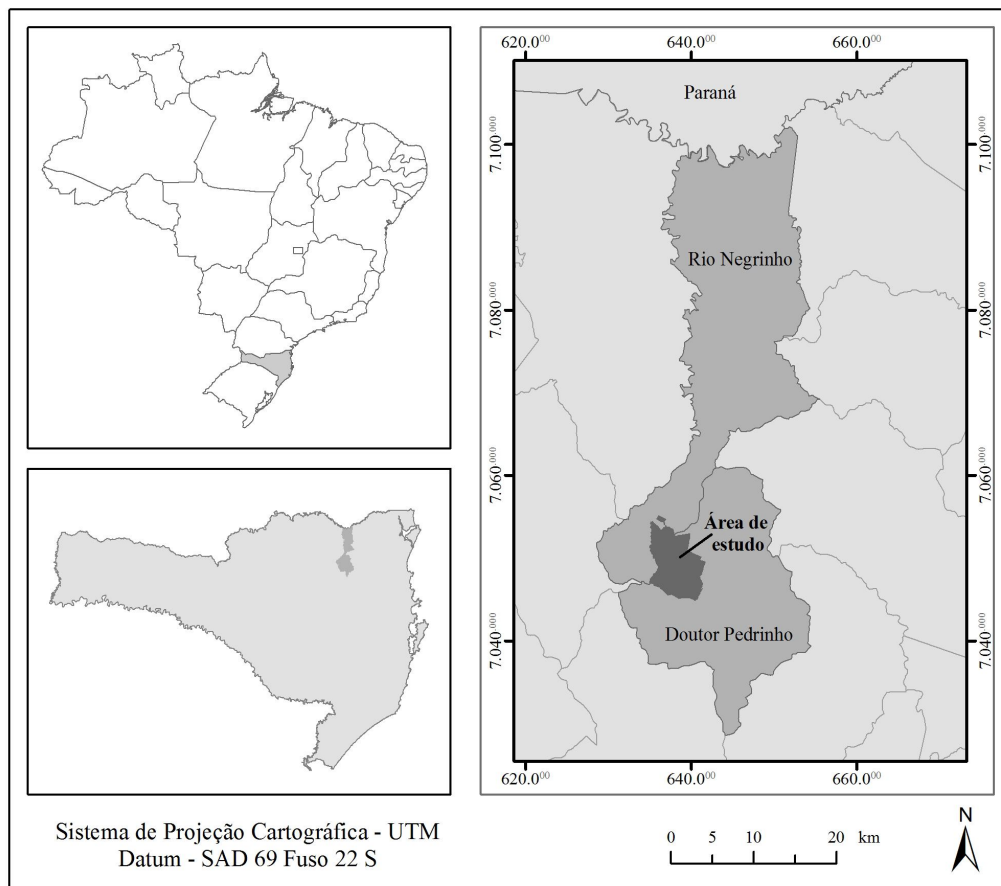
### 2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se no planalto norte de Santa Catarina, nos Municípios de Rio Negrinho e Doutor Pedrinho (Figura 1).

A área onde foi realizado o estudo é formada por 2.252 ha de *Pinus taeda* L. com idade de 11 a 15 anos, pertencentes à empresa Battistella Florestal. Essa área está localizada em meio a remanescentes de Floresta Ombrófila Mista.

A geologia dessa unidade é composta pela formação Mafra, a qual é constituída de arenitos esbranquiçados, amarelados e avermelhados, finos a grosseiros. Ocorrem também diamictitos, ritmitos, conglomerados, argilitos e argilitos várvidos (SCHEIBE, 1986).

De acordo com dados climáticos de estações meteorológicas da EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina), a região é caracterizada pelo clima *Cfa*, ou seja, clima tropical, com verão quente, sem estação seca de inverno, segundo a classificação de Köppen.



**Figura 1** – Localização da área de estudo.

*Figure 1* – Location of study área.

As principais classes de solos que ocorrem na propriedade do presente estudo são, conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2006): CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico típico (23 %), CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico léptico (11%), CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico gleissólico (6 %), CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico saprolítico (3 %), CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico sômbrico (3 %), NEOSSOLO REGOLÍTICO Alumínico húmico (18 %), NEOSSOLO REGOLÍTICO Alumínico húmico léptico (12%), NEOSSOLO REGOLÍTICO Alumínico húmico gleissólico (2 %) todos de texturas média ou argilosa. A classe ARGISSOLO ACINZENTADO Alumínico com texturas média ou argilosa aparece em 12 % da área: ARGISSOLO ACINZENTADO Alumínico abrupto (8 %), ARGISSOLO ACINZENTADO Alumínico típico (2 %) e ARGISSOLO ACINZENTADO Alumínico câmbico (4 %). O restante da área é ocupada por CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico típico (4 %), GLEISSOLO MELÂNICO Alumínico típico (2 %), NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico (1 %) e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico húmico (1 %).

## 2.2 Elaboração dos mapas

Primeiramente, foram preparados os mapas-base das variáveis necessárias para a elaboração do mapa de fragilidade potencial e, posteriormente, o mapa com a simulação do impacto das atividades florestais.

O mapa de fragilidade potencial foi preparado a partir dos mapas de variáveis físicas dos solos e da declividade do terreno. As variáveis dos solos foram

obtidas a partir de 554 amostras de solo, considerando porcentagem de argila na camada superficial, porcentagem de argila na camada subsuperficial, espessura do horizonte A (cm) e profundidade efetiva (m). As predições das variáveis para áreas não amostradas foram interpoladas por krigagem. A declividade foi determinada a partir do modelo numérico do terreno (MNT), o qual foi gerado com curvas de nível com equidistância vertical de 10 metros.

Para simular o impacto das atividades florestais sobre o mapa de fragilidade potencial, foram utilizadas mais duas variáveis representadas pelos mapas de “valor de impacto das atividades florestais” e “cobertura vegetal”.

### 2.2.1 Valor de impacto das atividades florestais

São mapas referentes ao valor de impacto de cada atividade florestal, os quais foram baseados em um estudo interno da empresa Battistella Florestal e determinados por meio da metodologia da Matriz de Leopold (BATTISTELLA FLORESTAL, 2003). Essa metodologia é amplamente adotada para a avaliação de impactos ambientais e consiste em estabelecer o grau de alteração provocado por algum empreendimento e a importância e a intensidade do efeito na área de influência do empreendimento ou fora dela (LEOPOLD et al., 1971).

Neste estudo, o valor do impacto das atividades florestais foi determinado por meio da somatória dos valores dos critérios: magnitude, tempo de duração e reversibilidade (Tabela 1), referente ao peso impactante da atividade avaliada.

**Tabela 1** – Valores dos critérios para avaliar o impacto das atividades florestais por meio da Matriz de Leopold.

**Table 1** – *Criteria values for impact evaluation of forest activities by Leopold matrix.*

Critério	Parâmetro	Valor
Magnitude (M)	Pequena	1
	Média	2
	Grande	3
Amplitude (A)	Local	1
	Regional	2
Tempo de duração (TD)	Temporário	1
	Cíclico	2
	Permanente	3
Reversibilidade (R)	Reversível	1
	Parcialmente Reversível	2
	Irreversível	3

Fonte: Battistella Florestal (2003)

A *priori*, a somatória dos valores baseados nos quatro critérios pode ter valores variando de 4 (atividade menos impactante) a 11 (atividade mais impactante). A avaliação das atividades florestais consideradas para este estudo indica que houve valores que variaram de 4 a 8 (Tabela 2).

### 2.2.2 Cobertura vegetal

Dados referentes à quantidade de cobertura vegetal e à densidade de árvores para cada atividade florestal não foram coletados, sendo considerado que as atividades avaliadas são realizadas em locais que apresentam alguma cobertura vegetal. Embora seja um valor indeterminado, sabe-se que ela existe e é proporcionada pela presença de povoamentos desbastados ou não, regeneração de gramíneas e/ou pioneiras.

Para a elaboração dos mapas de fragilidade potencial e, em seguida, do mapa com a simulação do impacto das atividades florestais, foram utilizados dois programas:

*NetWeaver* (*Rules of Thumb, Inc.*), o qual permite entre outros a determinação dos valores da função *fuzzy*, e *ArcGis* 9.0 (Esri) para a geração dos mapas em ambiente SIG. A conexão entre um programa e o outro é dada por meio da extensão para o *ArcMap Ecosystem Management Decision Support* (EMDS) desenvolvido pelo Serviço Florestal Americano e o Instituto da Universidade de Redlands – EUA.

No *NetWeaver* definem-se os argumentos de como os dados serão avaliados, que podem ser do tipo clássico ou *fuzzy*. Um argumento do tipo clássico é baseado na lógica *booleana*, onde o valor “verdade” de uma proposição é totalmente verdadeiro (assume valor 1) ou totalmente falso (assume valor -1). Já, em um argumento tipo *fuzzy* os dados são comparados a uma função de pertinência, onde o valor “verdade” está compreendido no intervalo  $[-1, +1]$ . Na Tabela 3, podem-se observar os valores utilizados para a determinação da função de pertinência *fuzzy* para as variáveis consideradas neste estudo.

**Tabela 2** – Valores atribuídos às atividades florestais através da Matriz de Leopold.

**Table 2** – Forest activities values assigned by the Leopold Matrix.

Atividades florestais (Cenários)	Critérios				$\Sigma$
	M	A	R	TD	
Manutenção manual	1	1	1	1	4
Preparo do Solo manual; marcação e plantio manuais	2	1	1	1	5
Manutenção mecanizada	2	1	2	1	6
Colheita Motosserra	2	2	2	1	7
Preparo do solo mecanizado; marcação e plantio mecanizados	3	2	2	1	8
Colheita Feller/Skidder					

Fonte: Battistella Florestal (2003)

**Tabela 3** – Domínio das funções de pertinência *fuzzy* das variáveis.

**Table 3** – Domain of fuzzy membership functions of the variables.

Variáveis	Valores da função de pertinência fuzzy	
	Verdadeiro (+1)	Falso (-1)
Argila da camada superficial (%)	60	15
Argila da camada subsuperficial (%)	60	15
Profundidade efetiva do solo (cm)	100	25
Espessura do horizonte A (cm)	60	10
Declividade (%)	3	75
Impacto das atividades florestais (valores unitários)	4	11
Cobertura vegetal (%)	100	0

Fonte: Stolle (2008)

De acordo com a Tabela 3, o valor verdadeiro (+1) corresponde ao limite de 60% de argila na camada superficial e subsuperficial e o valor falso (-1) como 15%, ou seja, os valores de argila entre 60% e 15% terão valores verdade que variam de +1 a -1 na função *fuzzy*. No entanto, os valores iguais ou acima de 60% também apresentam valor +1 e os valores menores ou iguais a 15% apresentam valor -1.

Lepsch (1991) cita a importância de se conhecer a textura das camadas superficial e subsuperficial do solo, principalmente para estimar sua susceptibilidade à erosão, pois as indicações sobre trabalhos mecânicos, erodibilidade e avaliação de outras características são mais precisas quando se conhecem as texturas dos horizontes superficiais e subsuperficiais.

A profundidade efetiva do solo é de grande importância para a infiltração da água, pois quanto maior o volume de solo, maior será a capacidade de retenção de água, diminuindo o escoamento superficial. Neste estudo, considerou-se que solos profundos com um mínimo de 100 cm de profundidade correspondem ao valor (+1), e solos rasos com no máximo 25 cm de profundidade correspondem ao valor (-1) (Tabela 3).

O valor de 60 cm e o valor 10 cm (Tabela 3) foram definidos com base na amplitude da espessura do horizonte "A" encontradas na área de estudo, e para os valores da variável declividade foi definido que um relevo plano (3 %) é menos frágil que um relevo montanhoso (75 %). Já, os valores de impacto (4 e 11) foram definidos de acordo com o valor de impacto já citados anteriormente (Tabela 2), sendo o valor 4 (verdadeiro +1) o menos impactante e o valor 11 o mais impactante (falso -1).

Para definir os domínios da função de pertinência *fuzzy* para a variável cobertura vegetal, determinou-se arbitrariamente que uma superfície 100 % coberta corresponde a áreas com floresta densa e dossel fechado, e 0 % para áreas sem cobertura (Tabela 3). No entanto, como neste estudo o valor é indeterminado, pois a quantidade não foi mensurada, definiu-se que o valor de cobertura vegetal será representado por um valor "verdade" indeterminado na função, que neste caso foi 0,5.

Após definidas as funções de pertinência para cada variável, procedeu-se com a construção do modelo hierárquico em forma de rede no programa *NetWeaver*, onde foram informadas quais variáveis foram empregadas e qual operador lógico foi utilizado para fazer a combinação entre as mesmas. Os mapas propriamente ditos foram elaborados em seguida por meio da extensão *EMDS*.

A combinação dos valores *fuzzy* de cada variável (atributos físicos dos solos, declividade, impacto e cobertura vegetal) foi realizada por meio de um operador lógico de média ponderada chamado *UNION*.

$$UNION = \frac{(valor_1 * peso_1 + valor_2 * peso_2 + ... + valor_n * peso_n)}{peso_1 + peso_2 + peso_n}$$

Onde:

valor<sub>n</sub> = valor "verdade" correspondente na função de pertinência *fuzzy*

peso<sub>n</sub> = peso determinado para cada variável

Esse operador foi escolhido, em razão da sua propriedade de ponderação, pois não permite que uma variável com valor falso (-1) em uma determinada área considere-a falsa (valor -1), independente do valor das outras variáveis.

Os pesos (Tabela 4) foram definidos hierarquicamente do maior (5) para o menor (1), de acordo com sua contribuição na fragilidade potencial.

**Tabela 4** – Pesos utilizados para as variáveis.

**Table 4** – *Weights used for the variables.*

Variáveis	Peso
Declividade	5
Argila da camada superficial	4
Profundidade Efetiva	3
Espessura do horizonte A	2
Argila da camada subsuperficial	1

Neste estudo, considerou-se que a declividade é a variável com maior peso, pois se verifica que mesmo em um solo menos susceptível há o risco de erosão, em razão da inclinação do terreno. A declividade do terreno é um dos fatores que influenciam fortemente nas perdas de solo e água por erosão hídrica, pois à medida que ela aumenta, aumentam o volume e a velocidade da enxurrada e diminui a infiltração de água no solo (COGO et al., 2003; GARCIA et al., 2003).

Após a declividade, a variável considerada neste estudo com maior influência na degradação é a textura da camada superficial, pois está diretamente relacionada com a capacidade de retenção de água e à coesão do solo, em razão do tamanho de suas partículas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985), particularmente para as classes de solo dominantes na área de estudo. Em seguida, determinou-se

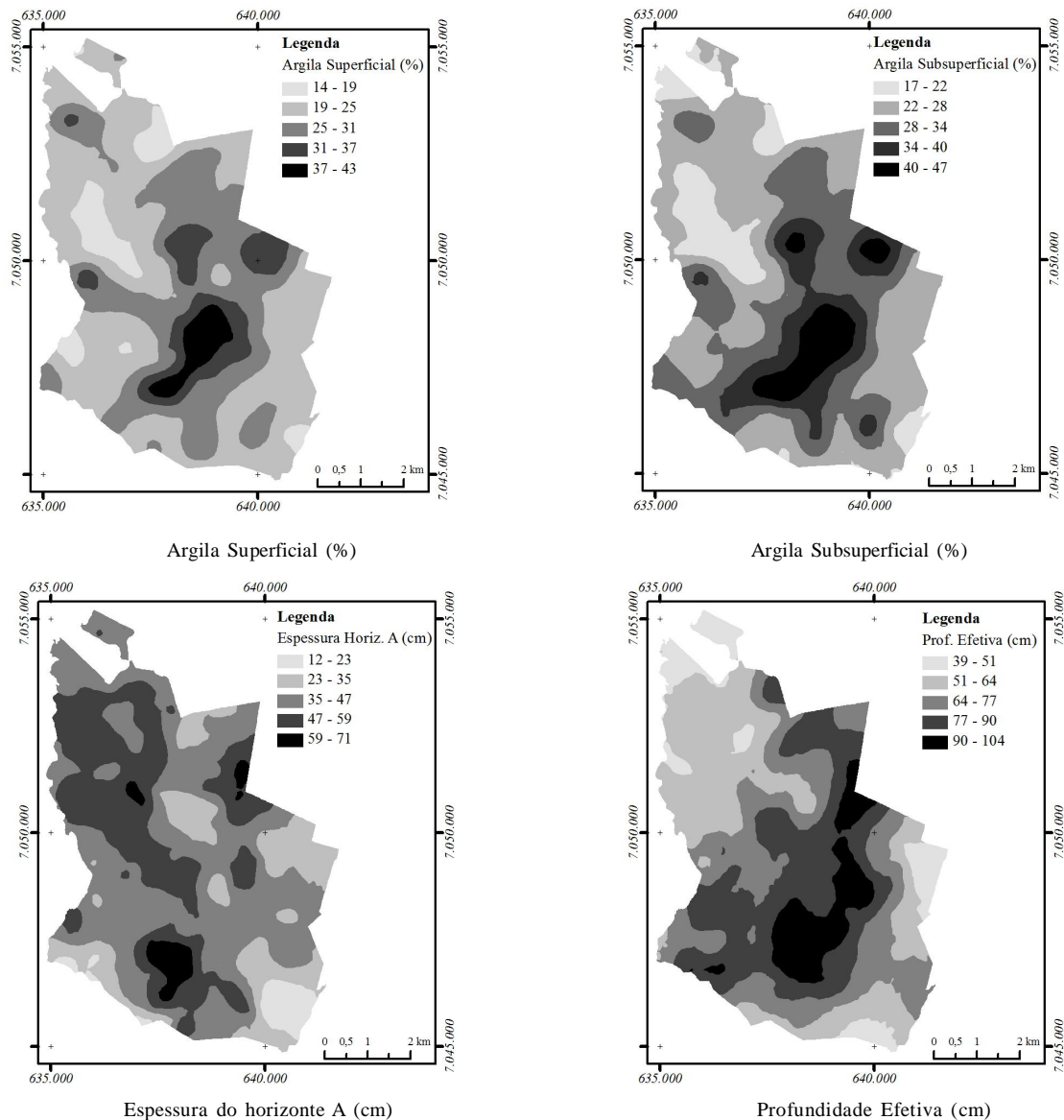
que a profundidade efetiva de um solo seria a variável de peso “3”, em razão da característica de retenção de água, pois um solo em relevo plano e com textura argilosa, se for raso, apresenta fragilidade inerente que não deve ser descartada.

A espessura do horizonte “A”, que também possui características favoráveis à retenção de água e a coesão, em decorrência do teor de matéria orgânica, apresentam igualmente grande importância na determinação da

fragilidade. Por último, estabeleceu-se a textura da camada subsuperficial, uma vez que ela está relacionada com a textura da camada superficial.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados dos atributos físicos dos solos, espacializados por krigagem, podem ser observados na Figura 2.



**Figura 2** – Espacialização dos atributos físicos do solo obtidos por meio de Krigagem.

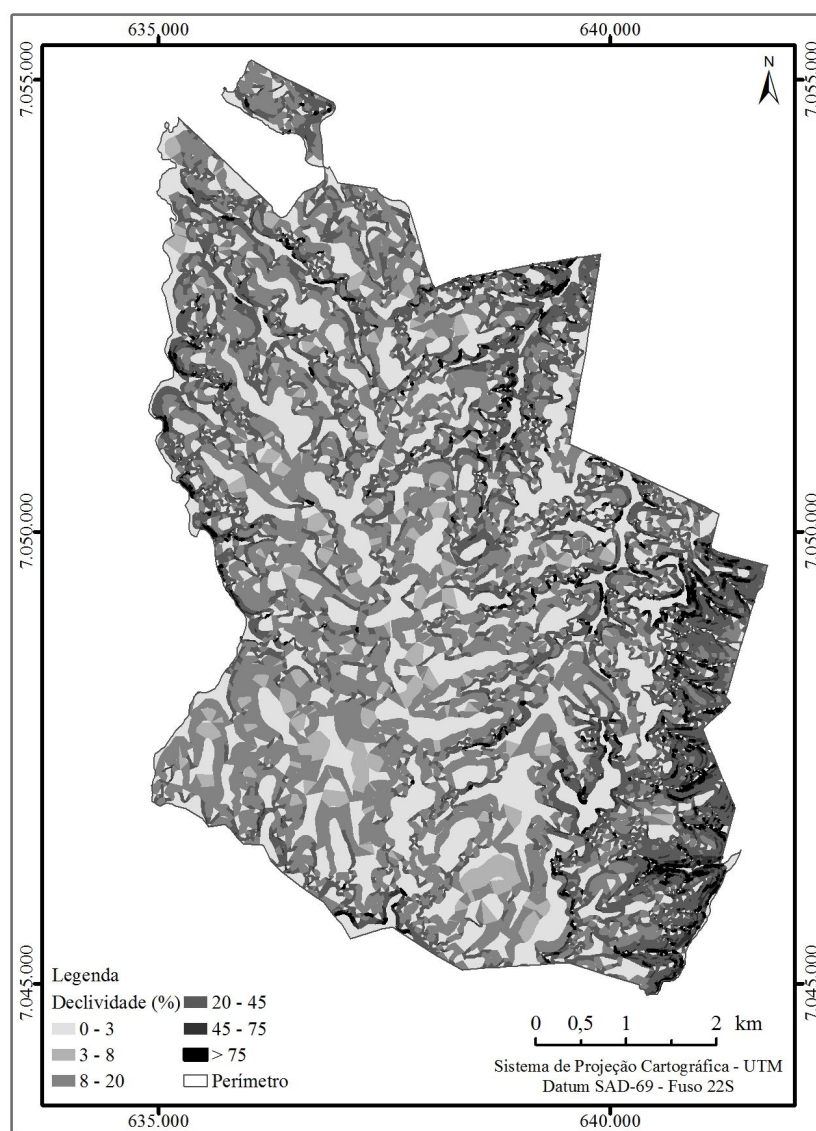
*Figure 2* – Spatialization of soil physical attributes obtained by Kriging.

Na Figura 3, mostra-se o mapa de declividade gerado a partir das curvas de nível. Na Figura 4, mostra-se o mapa de talhões com plantio de *Pinus taeda* utilizado para representar o valor da cobertura vegetal.

O mapa de fragilidade potencial para a área dos talhões de *Pinus taeda* (Figura 5), dado pela combinação das variáveis (argila superficial, argila subsuperficial, espessura do horizonte "A", profundidade efetiva do solo e declividade) mostrou que os valores "verdade" de

fragilidade variaram de -0,724 (mais frágil) até 0,740 (menos frágil). Portanto, não foram identificados na área de estudo locais com valor "verdade" (-1) ou (+1). Isso ocorreu porque não há locais que apresentem simultaneamente todos os valores falsos ou todos os valores verdadeiros da função de pertinência *fuzzy*.

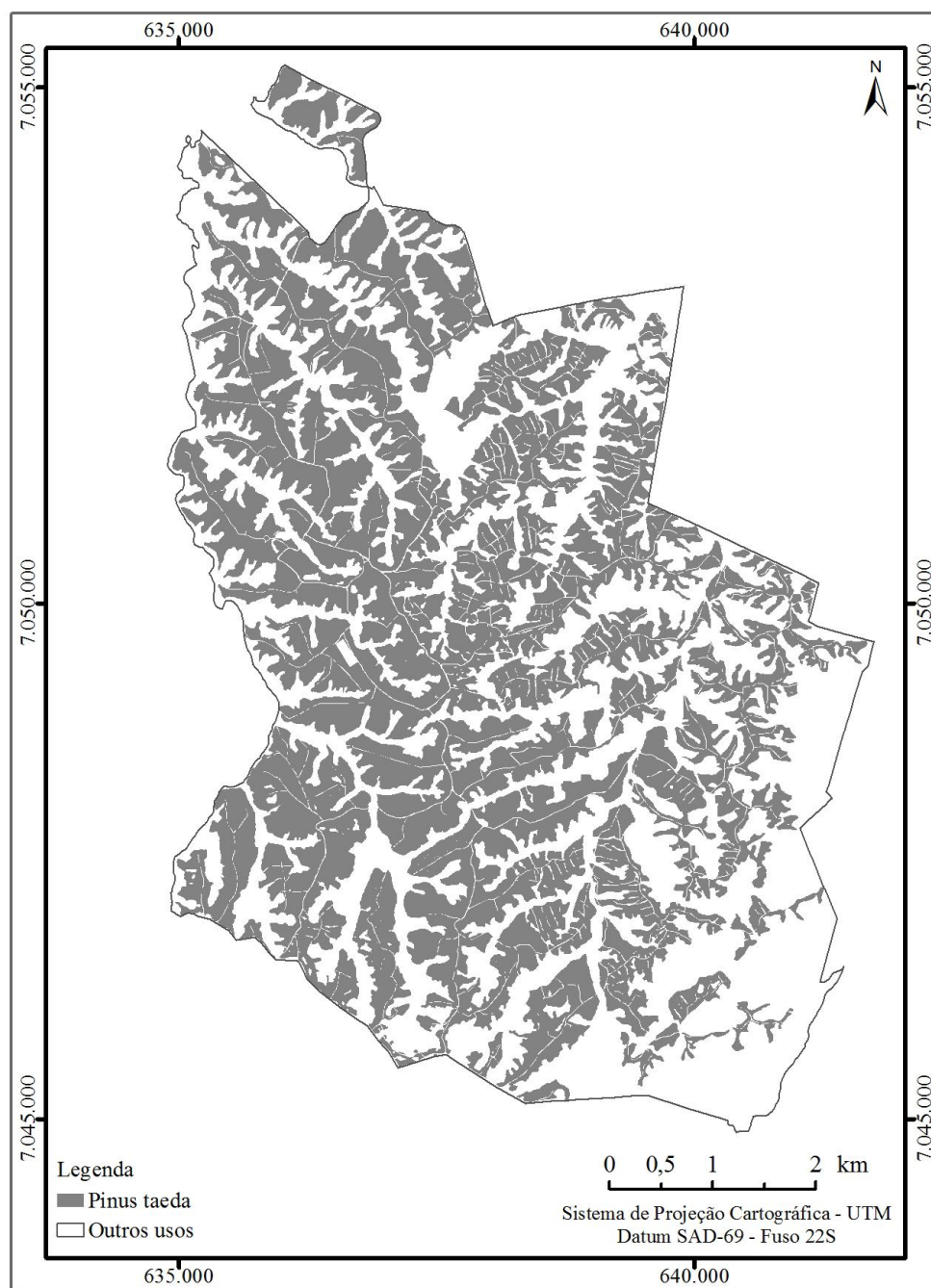
As áreas de maior fragilidade, valores "verdade" próximo a -0,724 (Figura 4), são caracterizadas predominantemente por apresentar declividades superiores



**Figura 3** – Mapa de declividade em percentagem.

*Figure 3* – Slope map, in percent.



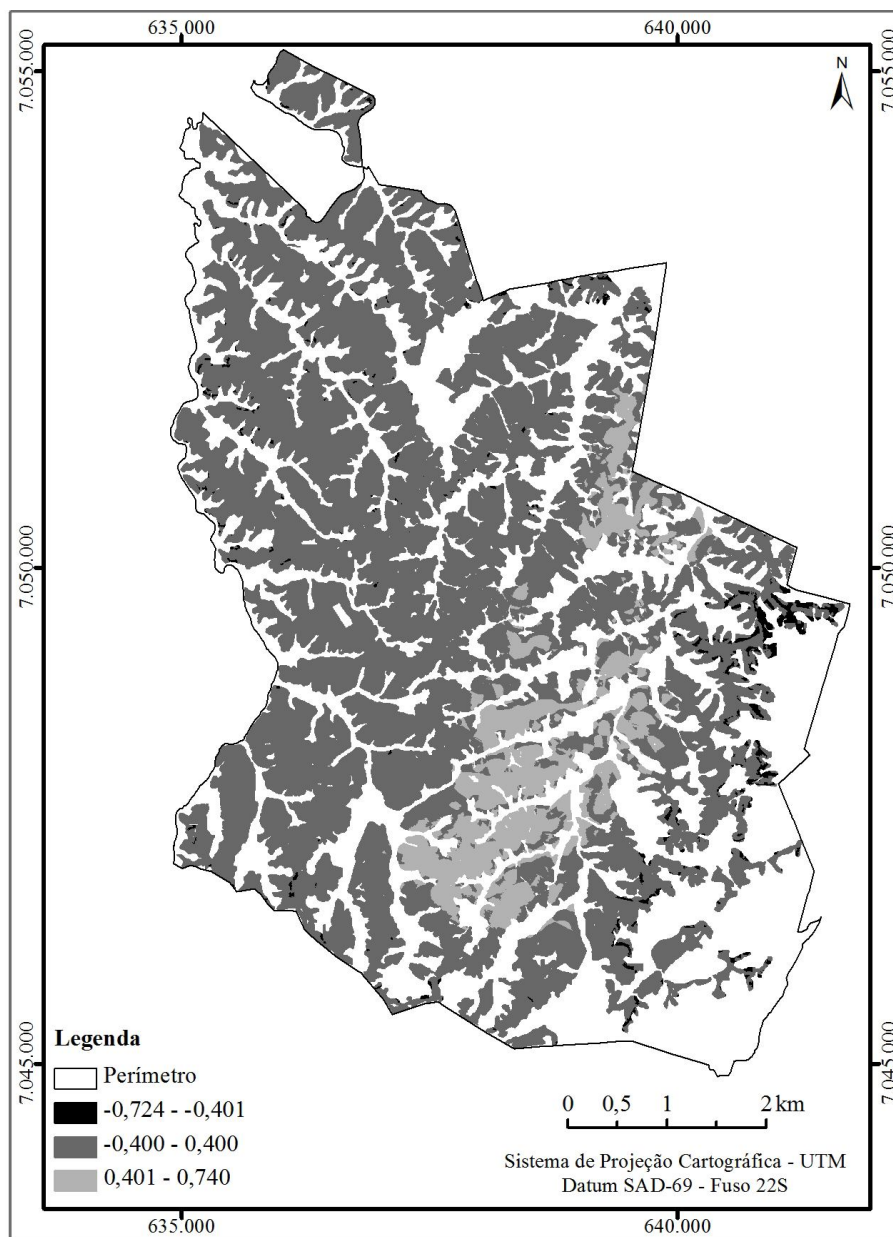


**Figura 4** – Mapa de talhões com *Pinus taeda*.

**Figure 4** – *Pinus taeda* stand map.

a 75 %, textura arenosa a média (teor de argila de 14 até 35 %) e nenhum solo com mais de 100 cm de profundidade e nem espessura do horizonte A com mais de 60 cm.

Por outro lado, as áreas consideradas menos frágeis (valores verdade próximo a 0,740) em cinza mais claro, apresentam, em sua maioria, relevo plano, nenhuma área



**Figura 5** – Mapa de fragilidade potencial para os talhões de *Pinus taeda*.

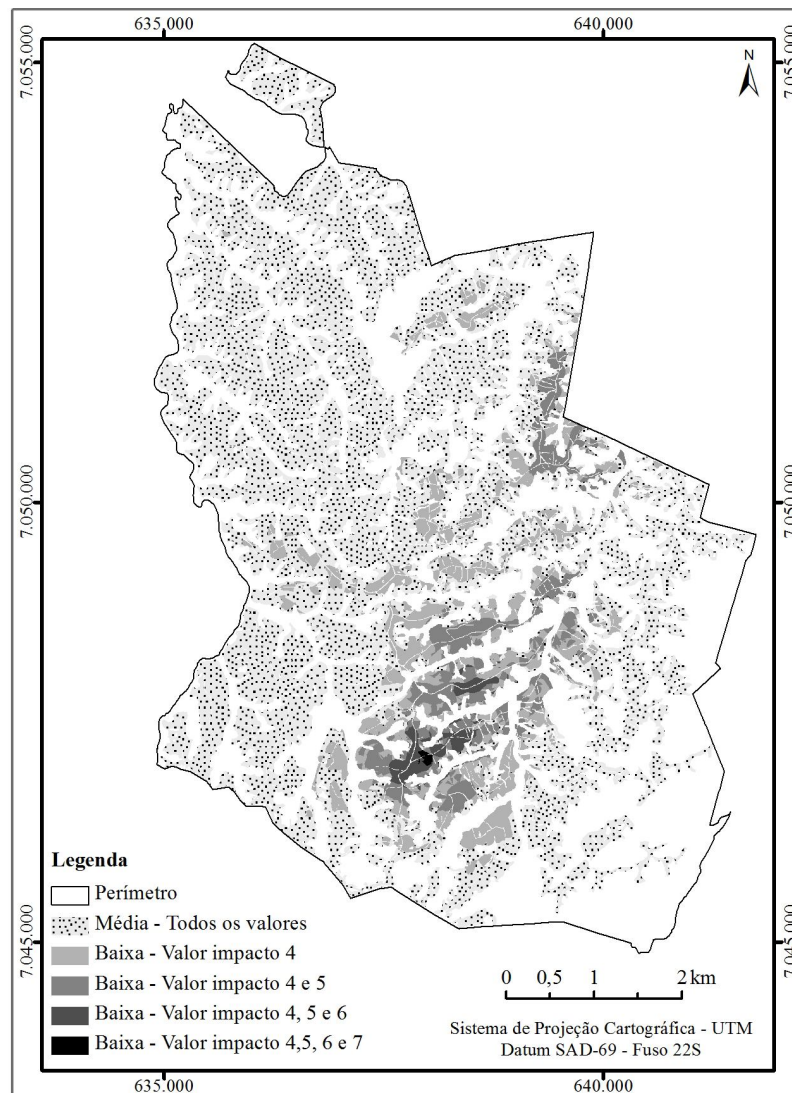
*Figure 5* – Potential fragility map for *Pinus taeda* stands.

com declividade igual ou superior a 75 %, textura argilosa (no mínimo 35 % de argila), solos profundos (em torno de 100 cm) e com espessura do horizonte A de no mínimo 60 cm.

O mapa de fragilidade potencial sugere que as áreas de tonalidades mais próximas de cinza claro, são mais

estáveis ambientalmente e podem ser utilizadas com menor risco de degradação.

A combinação dos valores “verdade” do mapa de fragilidade potencial com os valores “verdade” de impacto e de cobertura vegetal originaram o mapa com a simulação do impacto das atividades florestais (Figura 6).



**Figura 6** – Mapa de fragilidade após a simulação do impacto das atividades florestais.

*Figure 6* – Fragility map after forest activities impact simulation.

Para facilitar o entendimento e determinar melhor operacionalização do planejamento das atividades florestais na área de estudo, os valores “verdade” resultantes (-0,112 a 0,620) foram divididos em três classes: alta fragilidade (-1 a -0,401), média fragilidade (-0,400 a 0,400) e baixa fragilidade (0,401 a 1).

A maior parte da área (78 %) apresentou valores “verdade” na classe de fragilidade média para todas as atividades simuladas, ou seja, todas as atividades florestais podem ser realizadas nessas áreas sem influência na

degradação do meio, onde áreas antes consideradas como de alta fragilidade potencial foram avaliadas como menos frágeis, pela presença da variável cobertura vegetal.

Da mesma forma, os resultados mostram que algumas áreas (11 %) que apresentaram valor verdade próximo a 0,400 para a fragilidade potencial tiveram seu valor “verdade” aumentado, em razão da presença da cobertura vegetal aliada à atividade de menor impacto (manutenção manual – valor 4), sendo consideradas como áreas de baixa fragilidade (valor “verdade” acima de 0,400).

#### 4 CONCLUSÕES

A utilização da lógica *fuzzy* permite uma análise detalhada e flexível da fragilidade potencial.

O mapa de fragilidade potencial serve de apoio à tomada de decisão para a seleção das técnicas de manejo.

Todas as áreas consideradas de fragilidade potencial alta no mapa foram classificadas, posteriormente, como de fragilidade média, por ter sido considerada a variável cobertura vegetal.

#### 5 REFERÊNCIAS

- BATTISTELLA FLORESTAL. **Plano de gestão de impactos ambientais**. Rio Negrinho, 2003. 34 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livraces, 1985. 392 p.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Soil and water losses by rainfall erosion influenced by tillage methods, slope-steepness classes, and soil fertility levels. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 743-753, jul./ago. 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.
- GARCIA, A. R.; MACHADO, C. C.; SILVA, E.; SOUZA, A. P.; PEREIRA, R. S. Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 535-542, jul./ago. 2003.
- LEOPOLD, L. B.; CLARKE, F. S.; HANSHAW, B.; BALSLEY, J. R. **A procedure for evaluating environmental impact**. Washington: U.S. Geological Survey, 1971. 13 p. (Circular, 645).
- LEPSCH, I. F. (Coord.). **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.
- MEIRELLES, M. S. P. **Análise integrada do ambiente através do geoprocessamento: uma proposta metodológica para a elaboração de zoneamentos**. 1997. 192 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-73, 1994.
- SANTOS, E. **Mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia do Rio Jirau, Município de Dois Vizinhos, Paraná**. 2005. 127 p. Dissertação (Mestrado Gestão e Análise Ambiental) - Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- SCHEIBE, L. F. A geologia de Santa Catarina: sinopse provisória. **Geosul**, Florianópolis, n. 1, p. 7-38, 1986.
- SILVA, S. F. **Zoneamento Geoambiental com auxílio de lógica fuzzy e proposta de um geoindicador para caracterização do meio físico da Bacia do Rio do Peixe**. 2005. 414 f. Tese (Doutorado em Geotecnica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- STOLLE, L. **Simulação e espacialização da fragilidade ambiental em relação às atividades florestais**. 2008. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.