



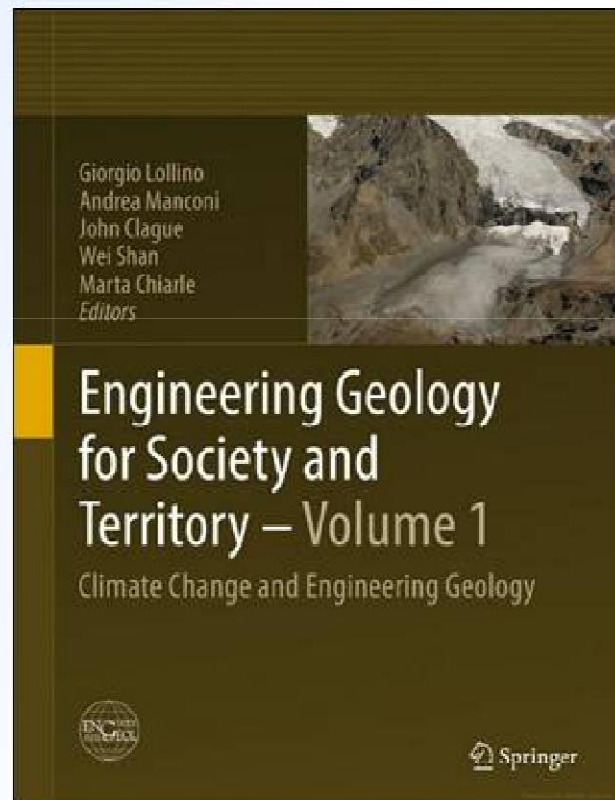
***Escola de Engenharia de Lorena - EEL
Universidade de São Paulo - USP
Engenharia Ambiental***

***Suscetibilidade e
vulnerabilidade a escorregamento de terras
Estudo de caso: Bacia do Rio Bengalas, 2011***

25/10/2017

Dr. Luiz Tadeu da Silva

Tese de Doutorado com Artigo publicado em livro



The screenshot displays the Springer Link interface for a specific chapter. At the top, there is a search bar and navigation links for 'Home' and 'Contact Us'. The chapter title is 'Susceptibility and Vulnerability to Landslides—Case Study: Basin of River Bengalás—City of Nova Friburgo—Brazil'. Below the title, the authors are listed: L. T. Silva, E. P. F. M. Sampaio, J. A. M. Corte-Real, D. A. Rodriguez, F. Carneuba Medeiros, B. E. Moraes, and D. G. M. Franca. There are two purchase options: 'Buy chapter' for \$29.95 / €24.95 / £19.95 and 'Buy eBook' for \$279.00 / €208.24 / £179.50. A 'Get Access' button is also present. The DOI is 10.1007/978-3-319-09300-0_101. An abstract follows, discussing the impact of landslides in Nova Friburgo, Brazil, and the study's objectives. On the right side, there are sections for 'Chapter Metrics' (29 Downloads) and 'Reference tools' (Export citation, Add to Papers list). Other actions include 'About this Book list' and 'Reprints and Permissions list'. Social media share buttons for Facebook, Twitter, and LinkedIn are also visible.

Metodologias aprovadas para apresentação oral

IAEG XII CONGRESS
Torino, Italy
September/2014



XVI SELPER
Medellín, Colombia
Octubre/2014



Revista Brasileira de Cartografia - Edição Especial de Desastres Naturais
sob as projeções de mudanças climáticas do ETA-HADGEM-ES RCP 4.5 (Res. 20 km)
Período: 01/01/2016 a 30/12/2040



REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA

CAPA SOBRE ACESSO CADASTRO PESQUISA ATUAL ANTERIORES NOTÍCIAS

Capa > v. 66, n. 9 (2016) > Site

A VULNERABILIDADE A ESCORREGAMENTOS DE TERRA DA BACIA DO RIO BENGALAS - NOVA FRIBURGO - BRASIL SOB AS PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO ETA-HADGEM-ES RCP 4.5 / THE VULNERABILITY TO LANDSLIDES IN THE BASIN OF THE BENGALAS RIVER - NOVA FRIBURGO - BRAZIL REGARDING THE CLIMATE CHANGE PROJECTION OF THE ETA-HADGEM-ES RCP 4.5

Luiz Tadeu da Silva, Daniel Andrei Rodrigues, José Marcio da Silva Brito, José Lázaro de Siqueira Junior, Liza Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio, João Alexandre Medina Corra-Real, Pedro Do Monte Camarinho

RESUMO

O documento final da Conferência Mundial para a Redução de Desastres ocorrida em Kobe - Japão, no ano de 2005, chama a atenção para a necessidade de desenvolver sistemas de indicadores de risco e vulnerabilidade a nível nacional e subnacional como forma de permitir aos tomadores de decisão um melhor diagnóstico das situações de risco e vulnerabilidade. Áreas urbanas em sua expansão avançam para áreas geologicamente instáveis e topograficamente inclinadas, como é o caso da Bacia do Rio Bengalas, localizada no Município de Nova Friburgo, Brasil. Em janeiro de 2011, com a ocorrência de fortes chuvas na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, foram registrados 183 escorregamentos de terra somente na Bacia do Rio Bengalas, causando perdas humanas, econômicas e ambientais. Sob o efeito das mudanças climáticas são esperadas mudanças na frequência e magnitude dos eventos de precipitação extrema que afetam a vulnerabilidade a desastres e podem se tornar preocupantes a condição de vida das populações que vivem principalmente em áreas de riscos a escorregamentos de terra. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo estudar a vulnerabilidade a escorregamentos de terra da Bacia do Rio Bengalas para o período de 01/01/2016 a 30/12/2040, utilizando índices de vulnerabilidade a escorregamentos de terra que se mostraram eficazes na prevenção, monitoramento e previsão a estes tipos de desastres. Os índices indicam apenas a ocorrência de um evento de vulnerabilidade escorregamentos na Bacia, associado com a ocorrência de um evento de alta intensidade de precipitação. Este resultado está de acordo com a diminuição das precipitações médias e extremas na região associadas com as projeções Eta-HadGEM-ES RCP 4.5 e relatadas na literatura científica.

TEXTO COMPLETO:

PDF

Fonte: <http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/1352>

Conceitos

Suscetibilidade a escorregamentos de terra

Entendida como sendo a disposição, a tendência ou a sensibilidade que uma determinada área geográfica tem em sofrer este tipo de desastre (Silva, 2014).

Vulnerabilidade a escorregamentos de terra

Entendida como sendo a condição de risco que uma determinada área geográfica tem em sofrer tais desastres, a partir de expressiva ocorrência de precipitação de chuvas nesta área. (Silva, 2014).

Objetivo

Desenvolver novas metodologias para cálculos de suscetibilidade e de vulnerabilidade a escorregamentos de terra, utilizando dados ambientais e de precipitação de chuvas.

Área de Estudo

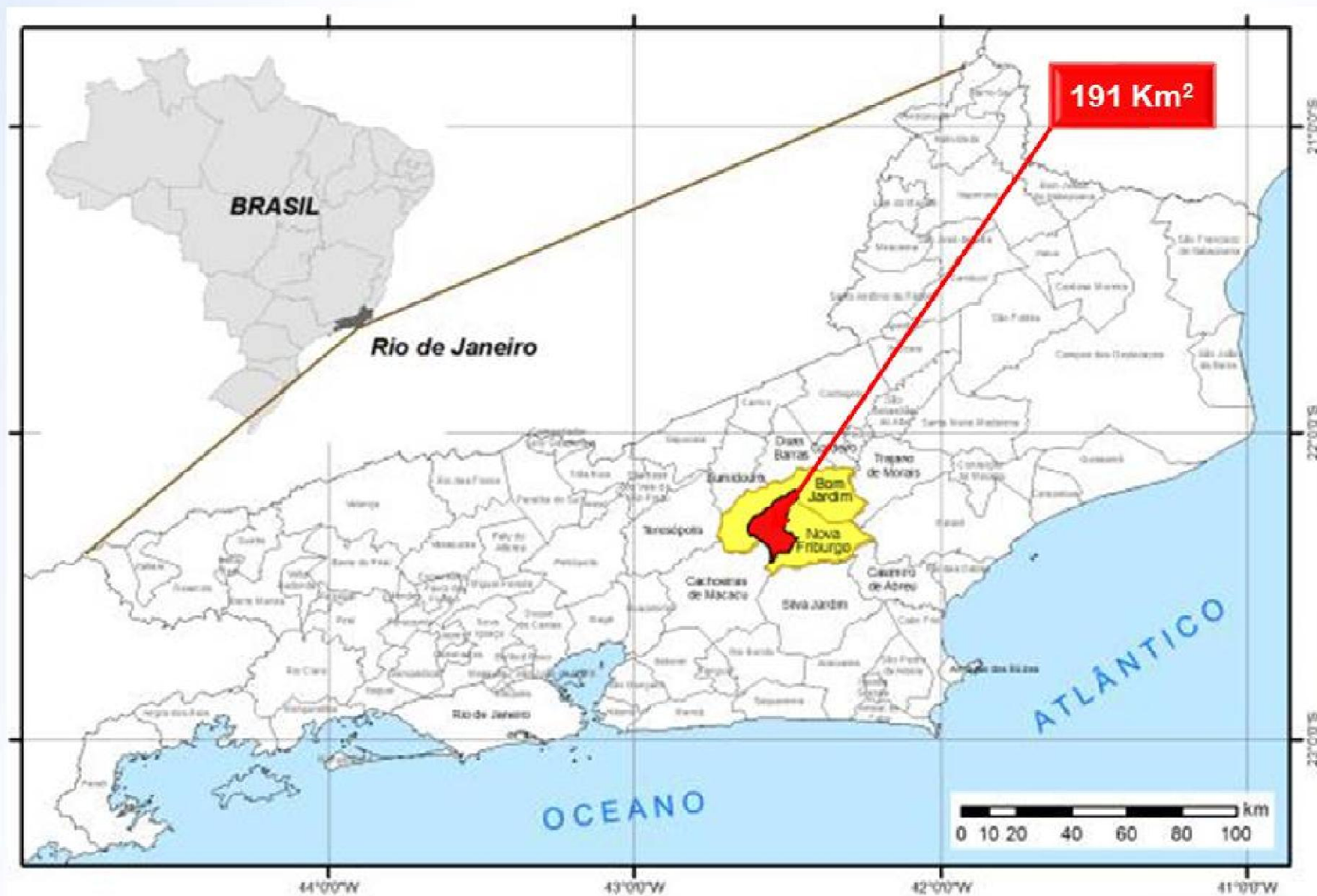
Bacia do Rio Bengalas

Município de Nova Friburgo

Região Serrana do Estado do RJ

Brasil

Área de Estudo

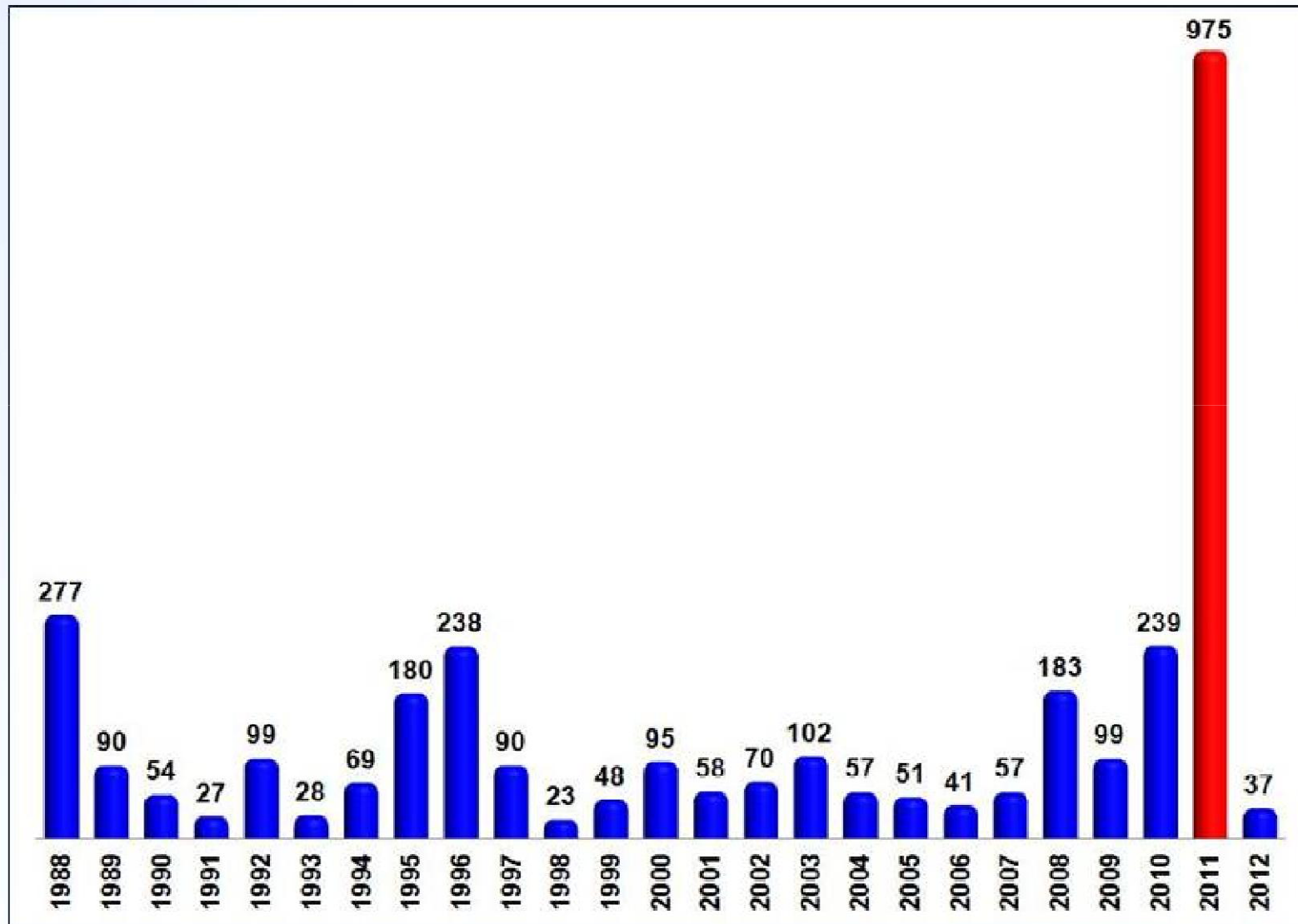


Fonte: IBGE (2011b), adaptada pelo Autor.

Justificativas

Justificativas

Distribuição anual do número de mortes por escorregamentos de terra no Brasil



Fonte: IPT (2009), adaptada pelo Autor.

Justificativas

- ✓ **Constatou-se na área de Estudo (BBC-Brasil 2012)**
 - **429 óbitos (44% de todo o Brasil em 2011)**
 - **789 desabrigados (amparados pelo Governo)**
 - **4.528 desalojados (amparados pelas famílias)**
 - **183 escorregamentos de terra**
- ✓ **Município: Prejuízo de US\$ 882 milhões**
- ✓ **Indústria: Prejuízo de US\$ 412 milhões**
- ✓ **20% das empresas foram destruídas, deixando de arrecadar/mês US\$ 11,7 milhões aos cofres públicos (R7 NOTÍCIAS, 2011a).**

Justificativas

- ✓ Entre o dia 11 e 12/janeiro/2011, um forte temporal atingiu o Município de Nova Friburgo, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil,

com uma precipitação de chuva na ordem de

- 83,73 mm: 11/janeiro
- 136,03 mm: 12/janeiro } **Σ 219,76 mm**
- 84,98 mm: Acumulada 5 dias (07 a 11/janeiro)
- 219,94 mm: Acumulada 5 dias (08 a 12/janeiro).

Segundo as Normais Climatológicas as chuvas esperadas para o Município para o mês de janeiro é de 232,1 mm (INMET, 2009).

Variáveis ambientais analisadas na área de estudo

Critérios de Observação e Análise Adotados

Declividade (ângulo do terreno)

Pedologia (solos)

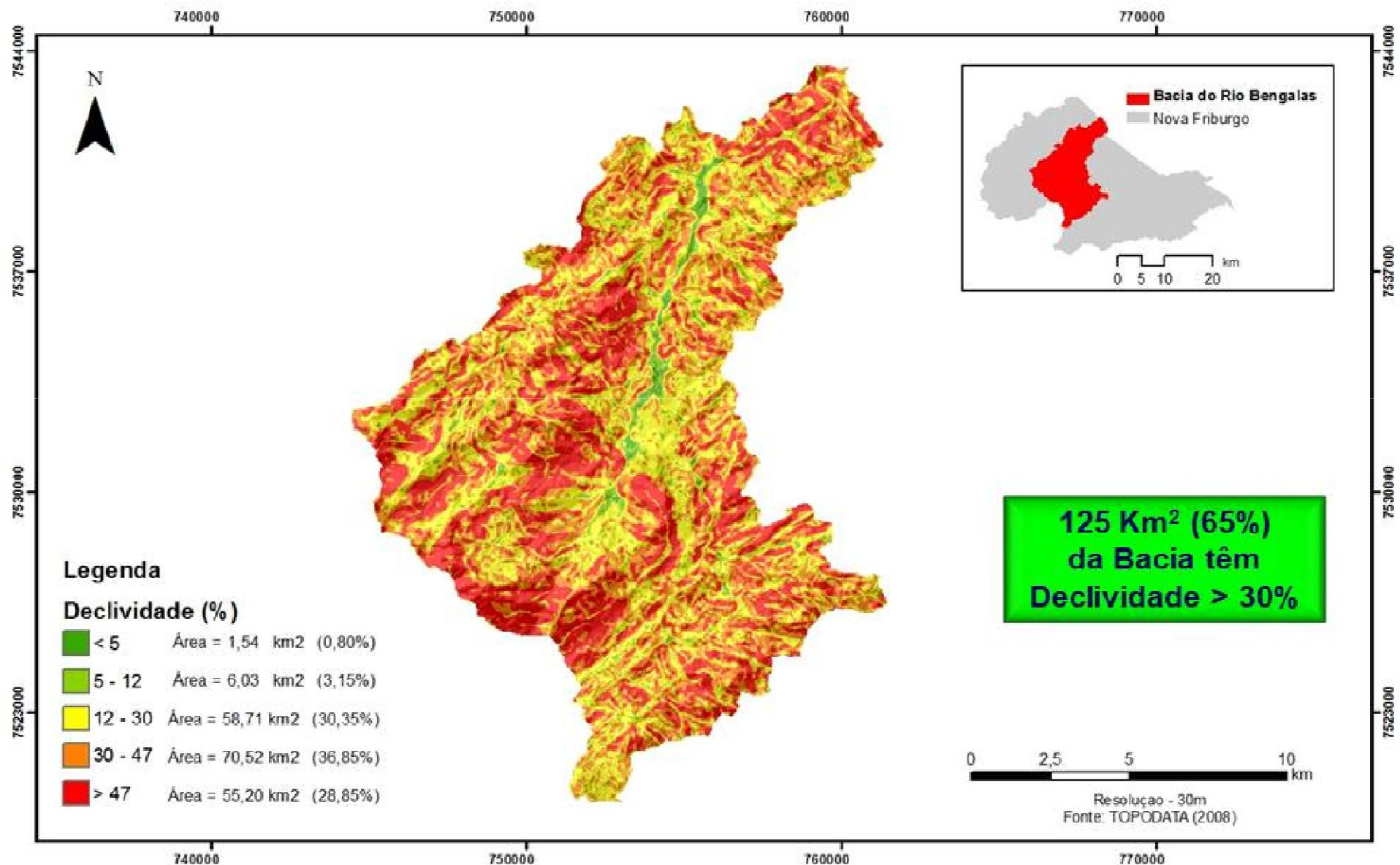
Uso e cobertura do solo (superfície do terreno)

Litologia (descrição de rochas)

Curvatura vertical (formas do terreno)

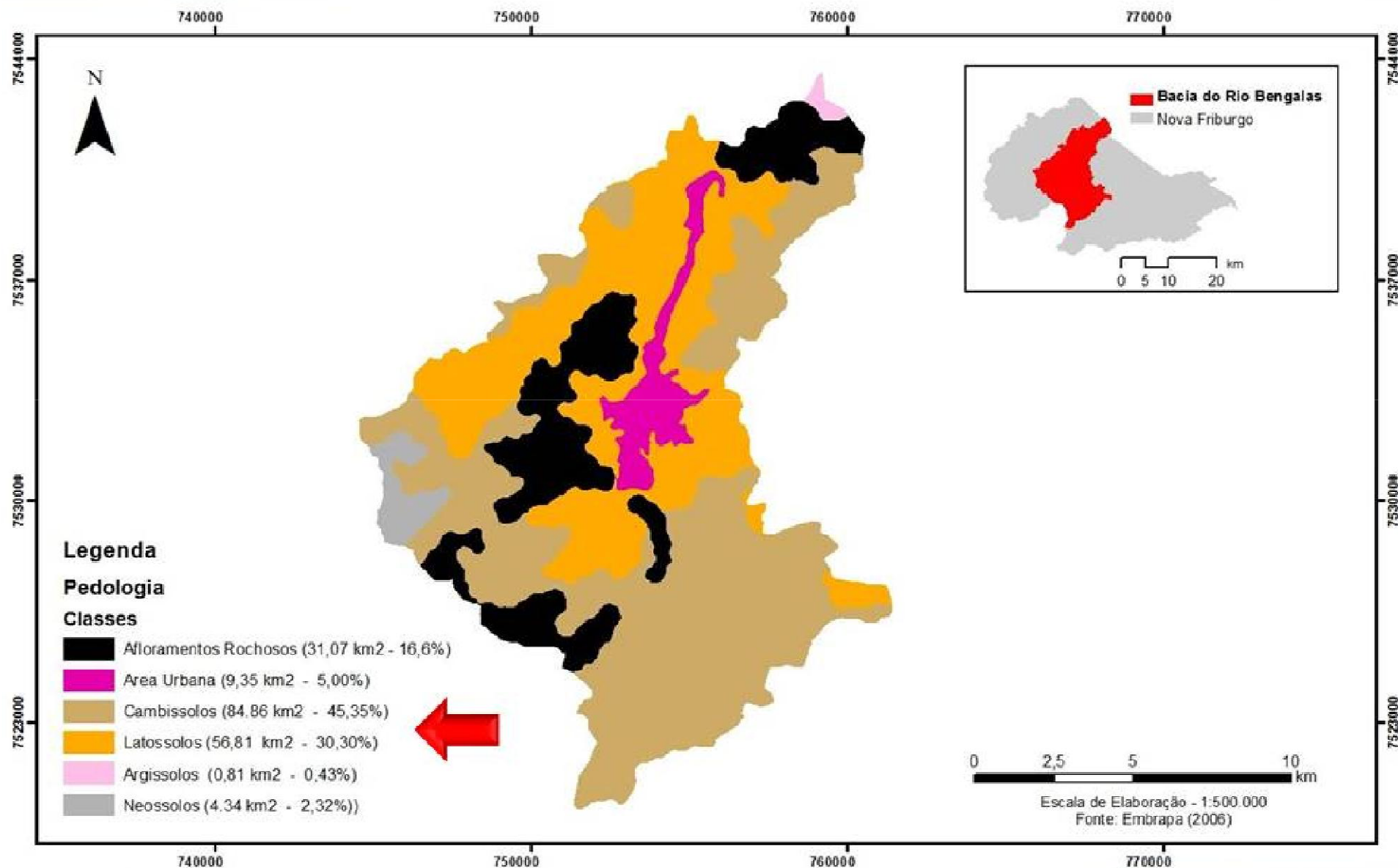
Curvatura horizontal (formas do terreno)

Área de Estudo: Declividade



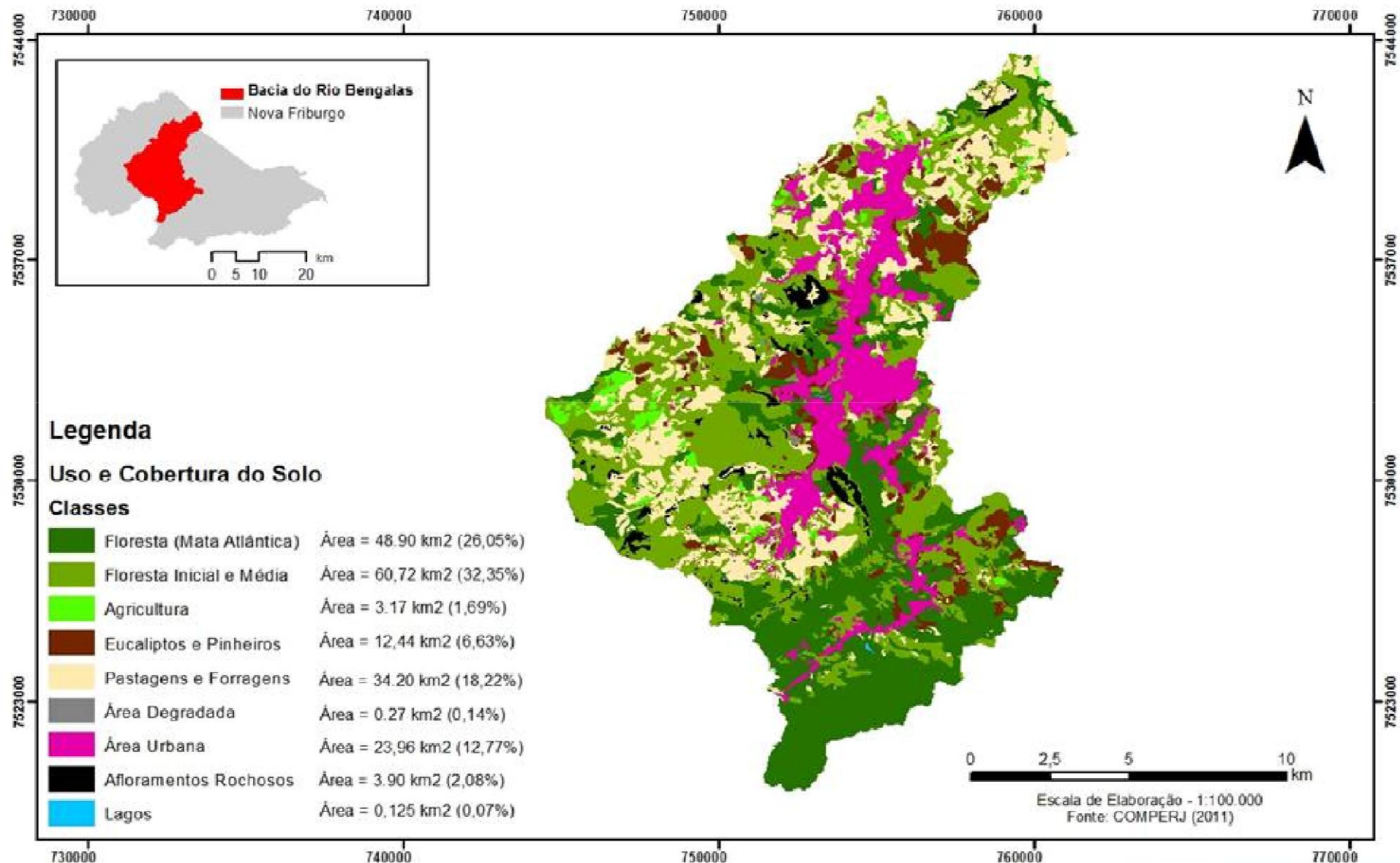
Fonte: Própria, dados provenientes do TOPODATA (2008).

Área de Estudo: Pedologia



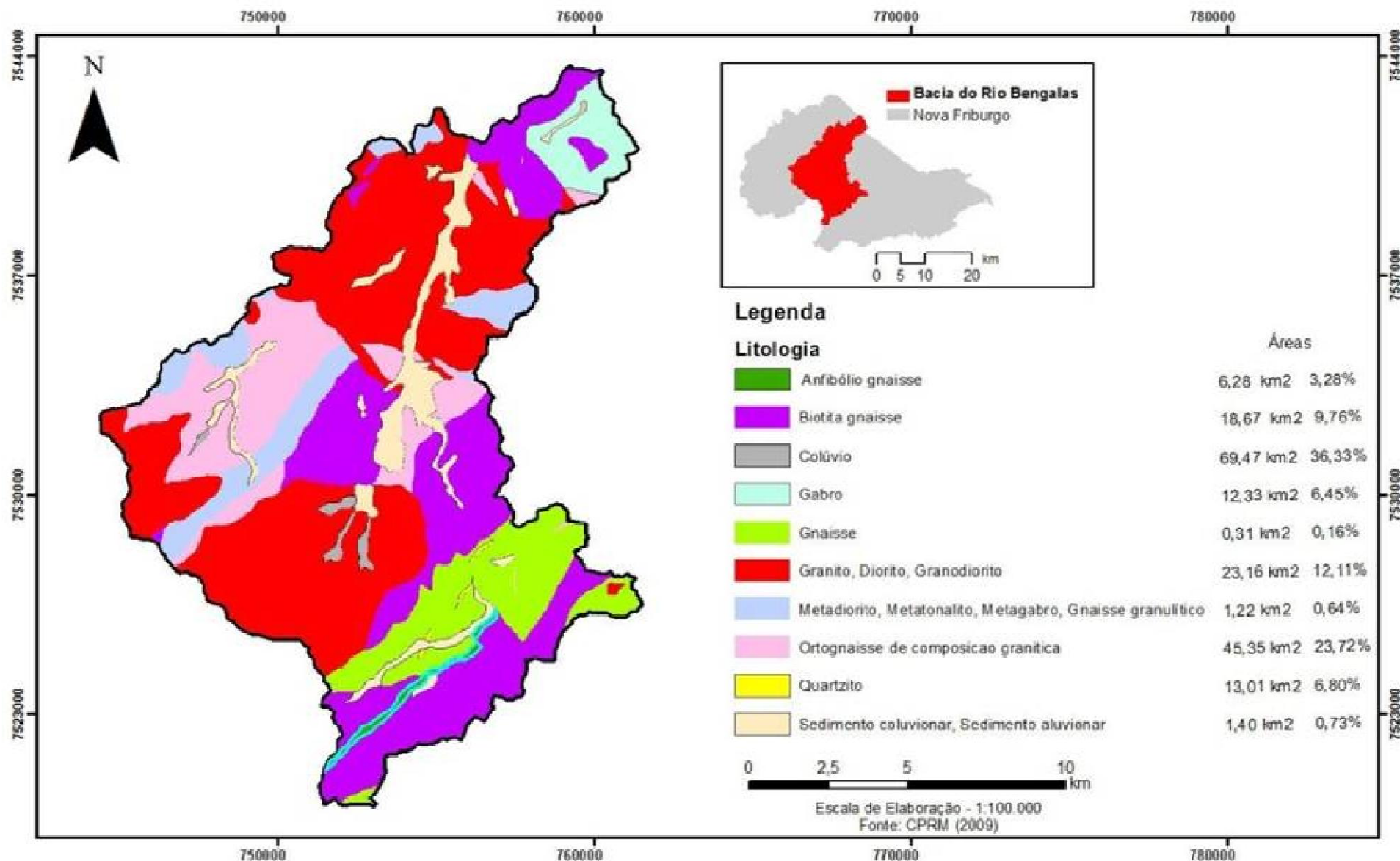
Fonte: Própria, dados provenientes da EMBRAPA (2006).

Área de Estudo: Uso e Cobertura do Solo

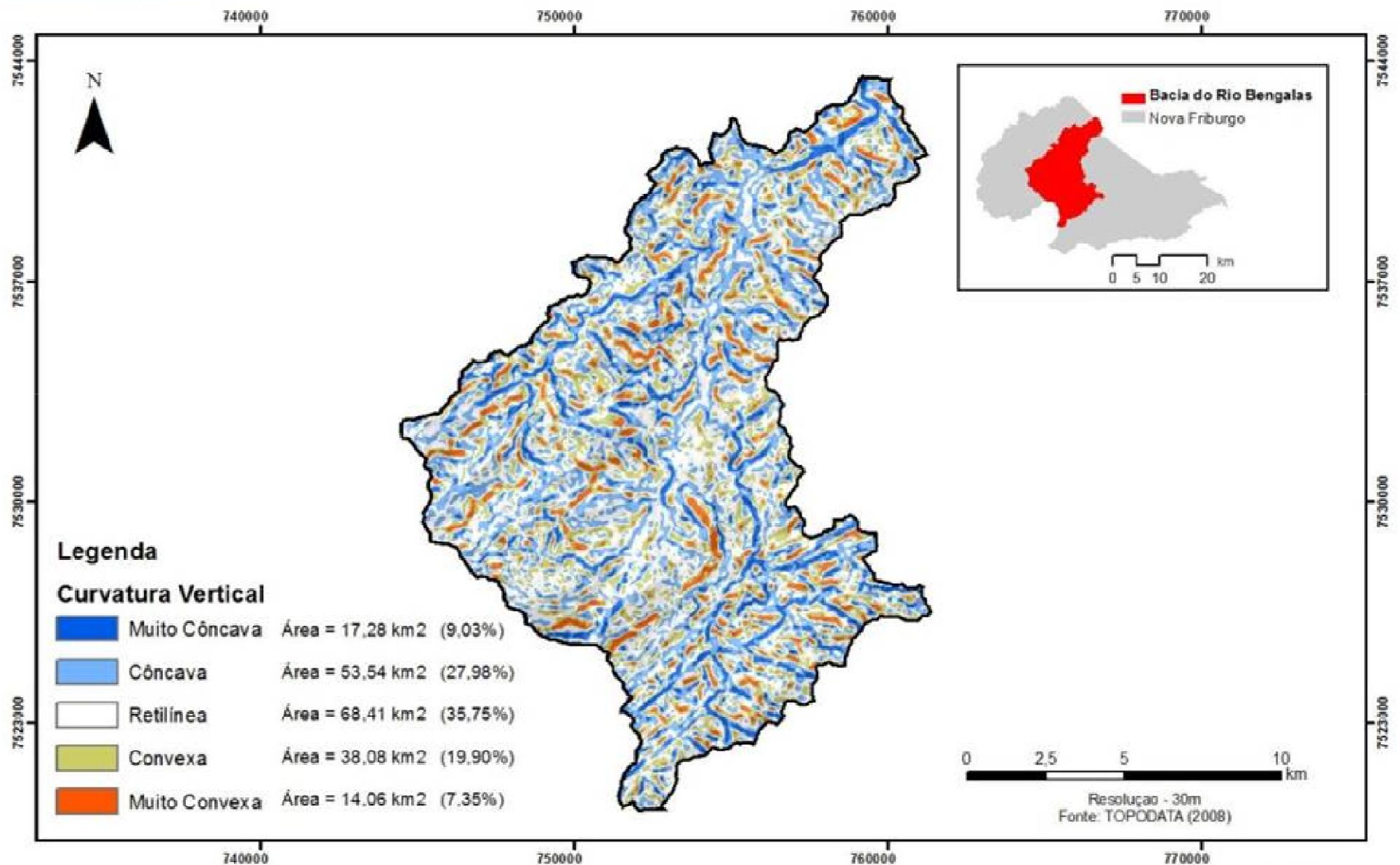


Fonte: Própria, dados provenientes do COMPERJ (2011).

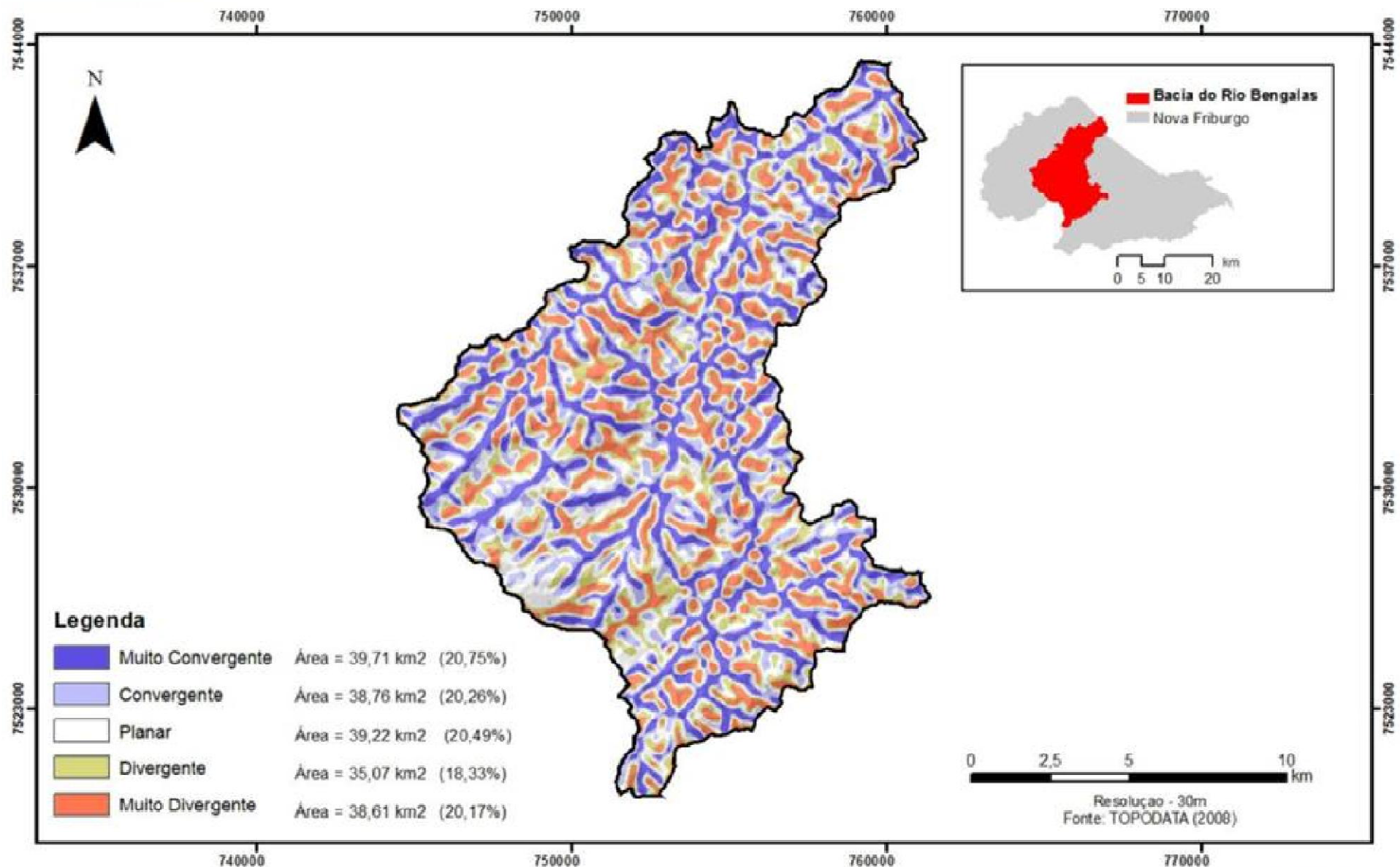
Área de Estudo: Litologia



Área de Estudo: Curvatura Vertical



Área de Estudo: Curvatura Horizontal



***Metodologia
existente na
Literatura***

Metodologia existente na Literatura

$$V = \frac{G + R + S + Vg + C}{5}$$

Onde:

V = Vulnerabilidade

G = vulnerabilidade para Geologia

**R = vulnerabilidade para Geomorfologia
(dissecação, altimetria e declividade)**

S = vulnerabilidade para Solos

Vg = vulnerabilidade para Vegetação

C = vulnerabilidade para Clima

Fonte: CREPANI (2001, p. 22 e 81)

***Novas Metodologias
desenvolvidas***

Cálculo da Suscetibilidade

**Termo 1
Suscetibilidade**

$$S = \left(\frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right)$$

NVA : Número de Variáveis (6)

S : Suscetibilidade

$\sqrt{V_{dc}}$: Raiz Quadrada da Variável Declividade

$\sqrt{V_{pd}}$: Raiz Quadrada da Variável Pedologia

$\sqrt{V_{li}}$: Raiz Quadrada da Variável Litologia

$\sqrt{V_{us}}$: Raiz Quadrada da Variável Uso e Cobertura do Solo

$\sqrt{V_{cv}}$: Raiz Quadrada da Variável Curvatura Vertical

$\sqrt{V_{ch}}$: Raiz Quadrada da Variável Curvatura Horizontal

Cálculo da Vulnerabilidade

Termo 1
Suscetibilidade

Termo 2
Precipitação

$$V = \frac{\left(\frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right) + \sqrt{\left[\frac{\left(\frac{PD}{CPC} \right) + \left(\frac{PA5}{MAXPA5} \right)}{2} \right]}}{2}$$

**Termo 2
Precipitação**

$$\sqrt{\left[\frac{\left(\frac{PD}{CPC} \right) + \left(\frac{PA5}{MAXPA5} \right)}{2} \right]}$$

PD : Precipitação Diária

CPC : Coeficiente de Precipitação Crítica (70 mm/24 horas)

PA5 : Precipitação Acumulada de 5 dias

MAXPA5 : Máxima Precipitação Acumulada 5 dias (01/01/1995 a 19/03/2013)

O índice resultante do termo 2 da equação foi classificado de acordo com os pesos pré-definidos a seguir:

Índice resultante do 2º termo da equação		Pesos
De	A	
0,00	0,19	0,00
0,20	0,39	0,20
0,40	0,59	0,40
0,60	0,69	0,60
≥ a 0,70		1,00

***Índices adotados para a
classificação da suscetibilidade e da vulnerabilidade***

Classes da Suscetibilidade / Vulnerabilidade	
Classes	Índices Adotados
Muito Baixa	0,00 a 0,19
Baixa	0,20 a 0,39
Média	0,40 a 0,59
Alta	0,60 a 0,69
Muito Alta	\geq a 0,70

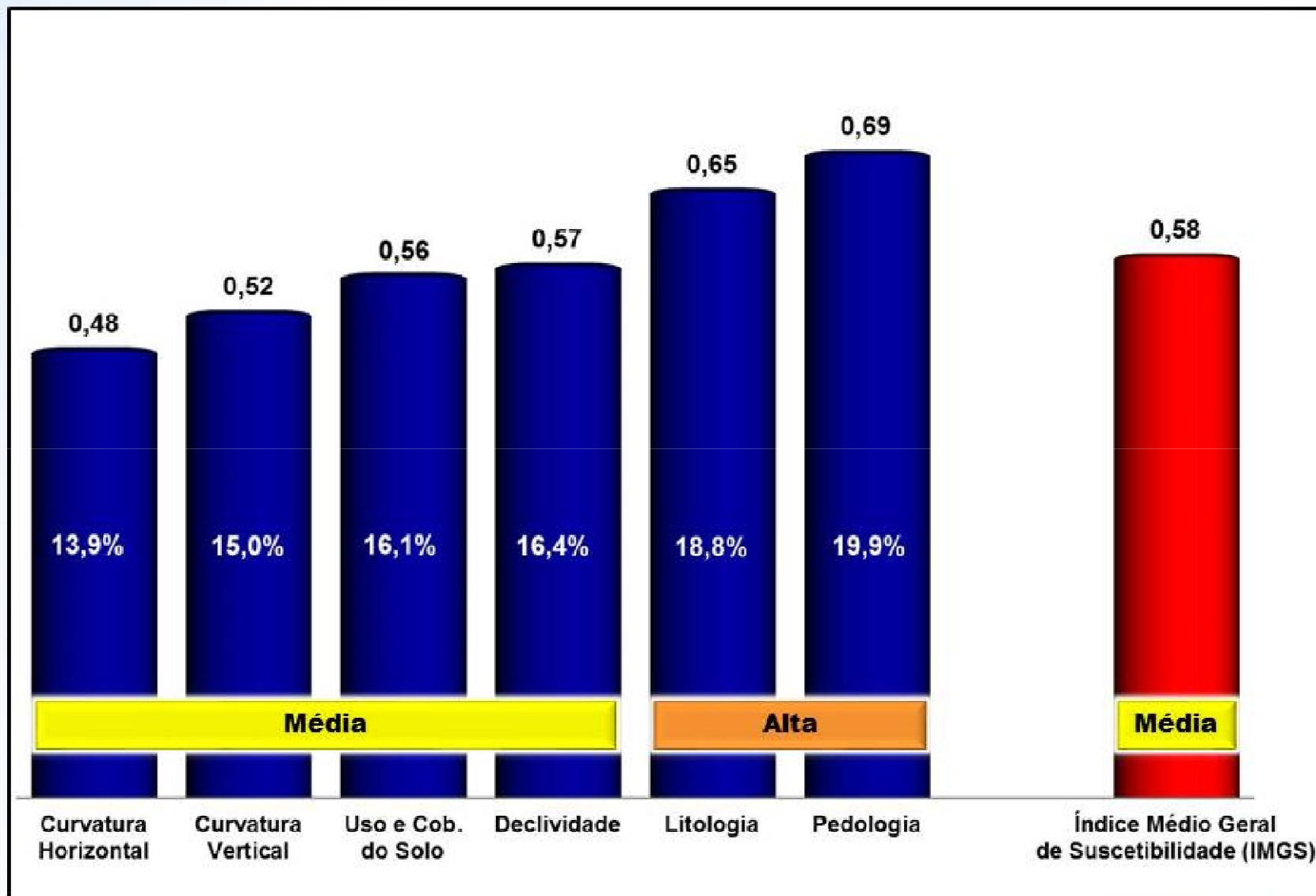
Resultados

SUSCETIBILIDADE

a escorregamentos de terra

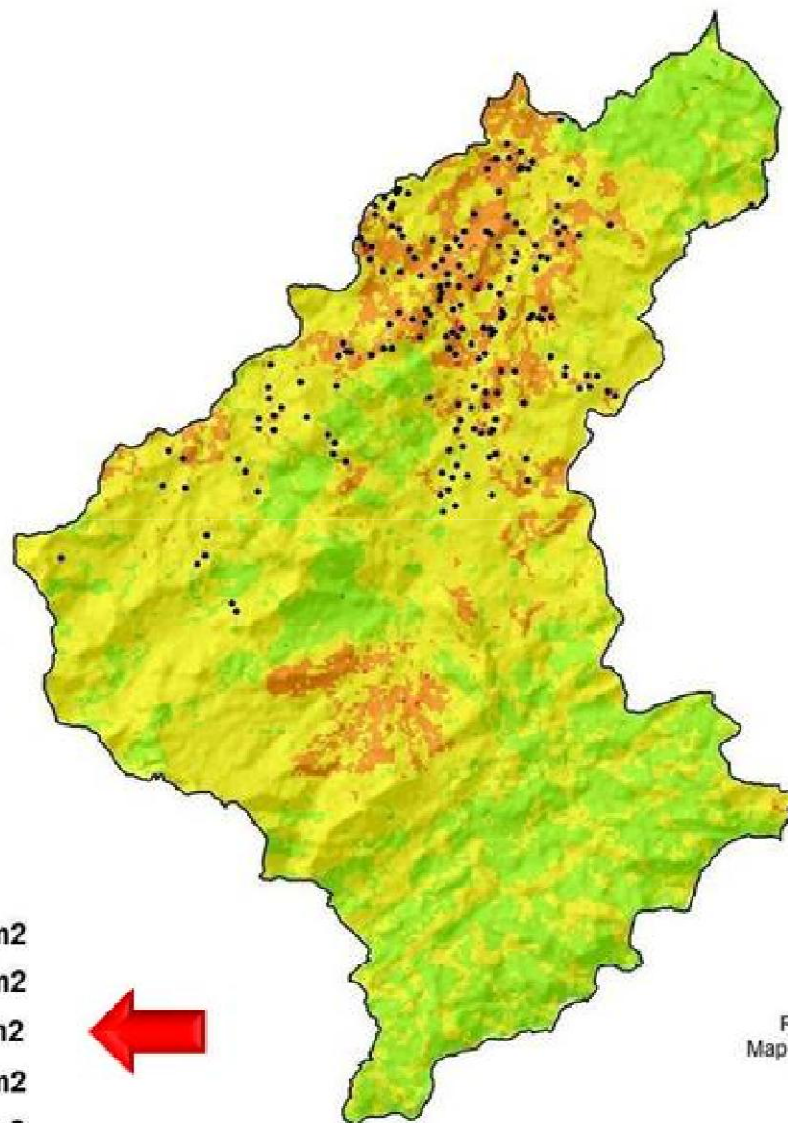
$$S = \left(\frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right)$$

IMSV & IMGS



IMSV: Índice Médio de Suscetibilidade da Variável
IMGS: Índice Médio Geral de Suscetibilidade






Mapa de Suscetibilidade



Legenda

- Escorregamentos

Suscetibilidade

	0,00 - 0,19	1,15 Km ²
	0,20 - 0,39	52,72 Km ²
	0,40 - 0,59	114,22 Km ²
	0,60 - 0,69	22,73 Km ²
	≥ 0,70	0,19 Km ²

0 1,5 3 6 km

Resultado obtido através da ferramenta:
Map Algebra (Raster Calculator), do ArcMap 10
Resolução: 1 pi = 70m

VULNERABILIDADE

a escorregamentos de terra

$$V = \frac{\left(\frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right) + \sqrt{\left[\frac{\left(\frac{PD}{CPC} \right) + \left(\frac{PA5}{MAXPA5} \right)}{2} \right]}}{2}$$

Vulnerabilidade

Na **validação** da nova metodologia usou-se dados de:

- Precipitação acumulada de chuvas para 5 dias (PA5) para medir a magnitude dos eventos.
- A série histórica escolhida para a análise foi de 01/01/1995 a 19/03/2013 (13 anos e 3 meses).
- Os dias 19/01/2005, 04/01/2007, 12/01/2011 e 18/03/2013 tiveram seus dados separados **para análise e validação**.
- Nestes dias foi registada na área de estudo uma precipitação diária de chuva superior a 80 mm, **com a ocorrência de escorregamentos de terra nos dias 04/01/2007 e 12/01/2011**.

Índice Médio da Vulnerabilidade Diária (IMVD)

19/01/2005	Nº de Escorregamentos	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento
		5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
		14/01/2005	15/01/2005	16/01/2005	17/01/2005	18/01/2005	
0	0,49	0,39	0,39	0,49	0,39	0,79	

04/01/2007	Nº de Escorregamentos	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento
		5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
		30/12/2006	31/12/2006	01/01/2007	02/01/2007	03/01/2007	
350	0,39	0,39	0,39	0,49	0,79	0,79	

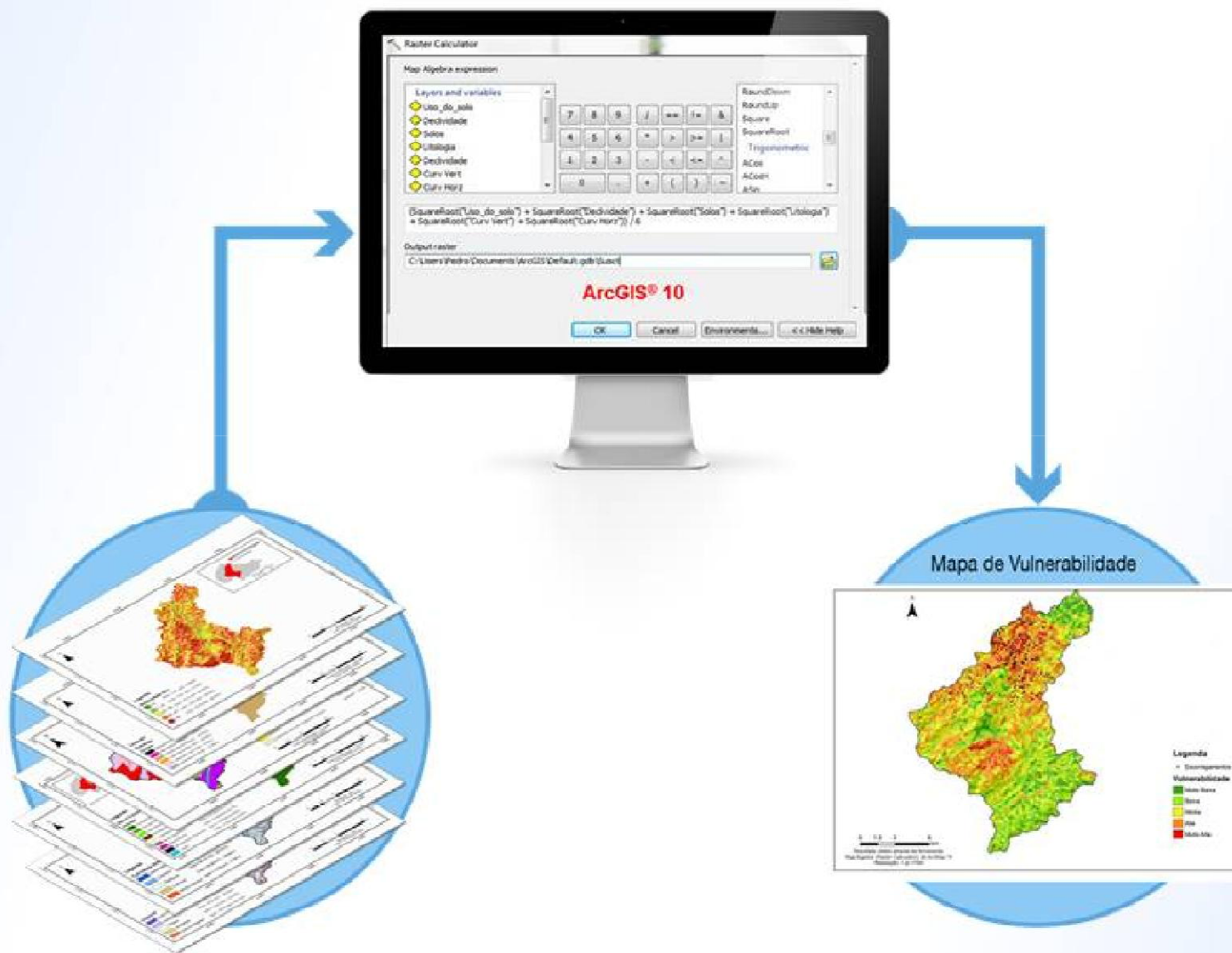


12/01/2011	Nº de Escorregamentos	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento
		5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
		07/01/2011	08/01/2011	09/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	
800	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79	

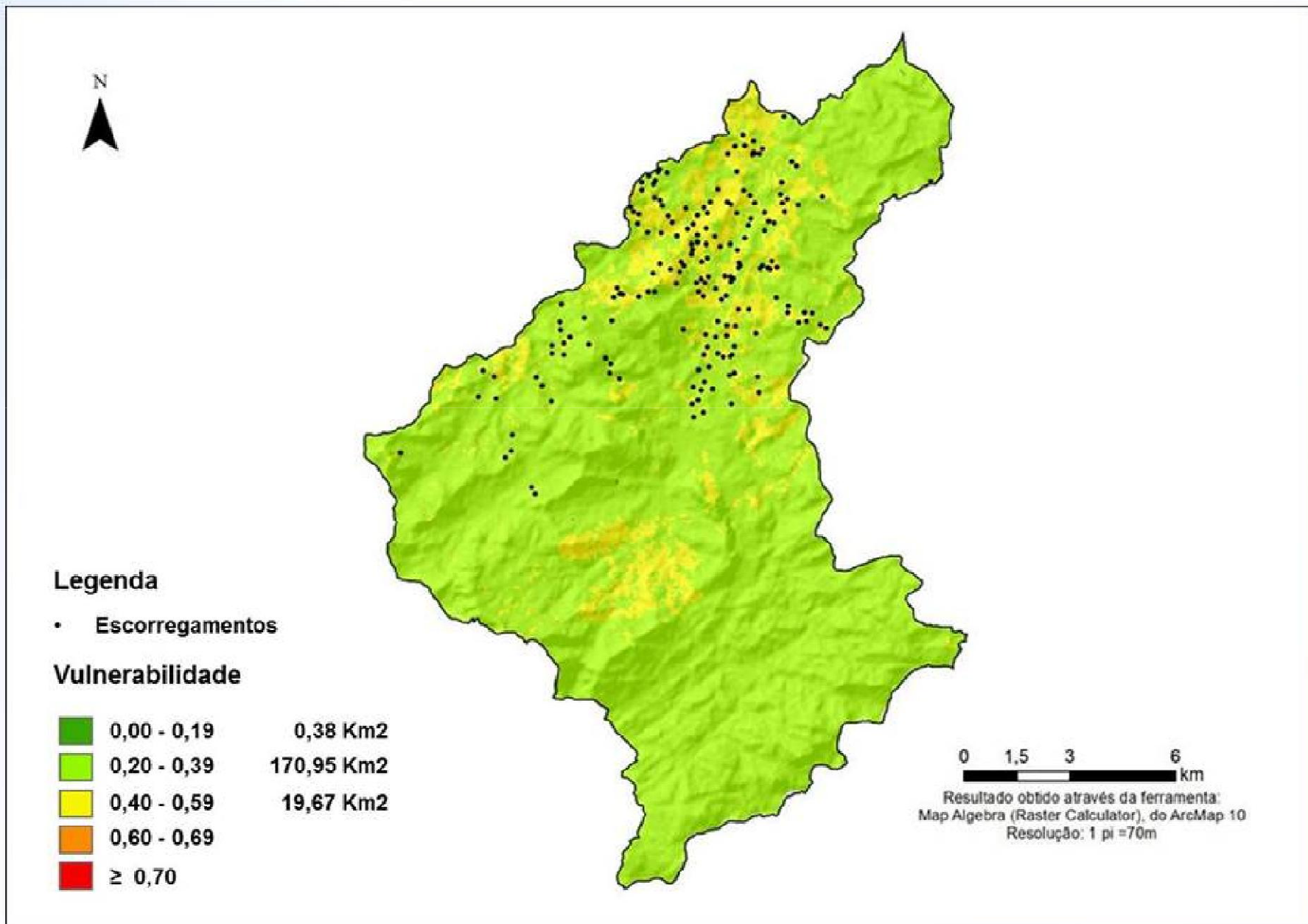


18/03/2013	Nº de Escorregamentos	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento
		5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
		13/03/2013	14/03/2013	15/03/2013	16/03/2013	17/03/2013	
0	0,39	0,49	0,39	0,39	0,39	0,79	

Os mapas de vulnerabilidade foram gerados por meio...

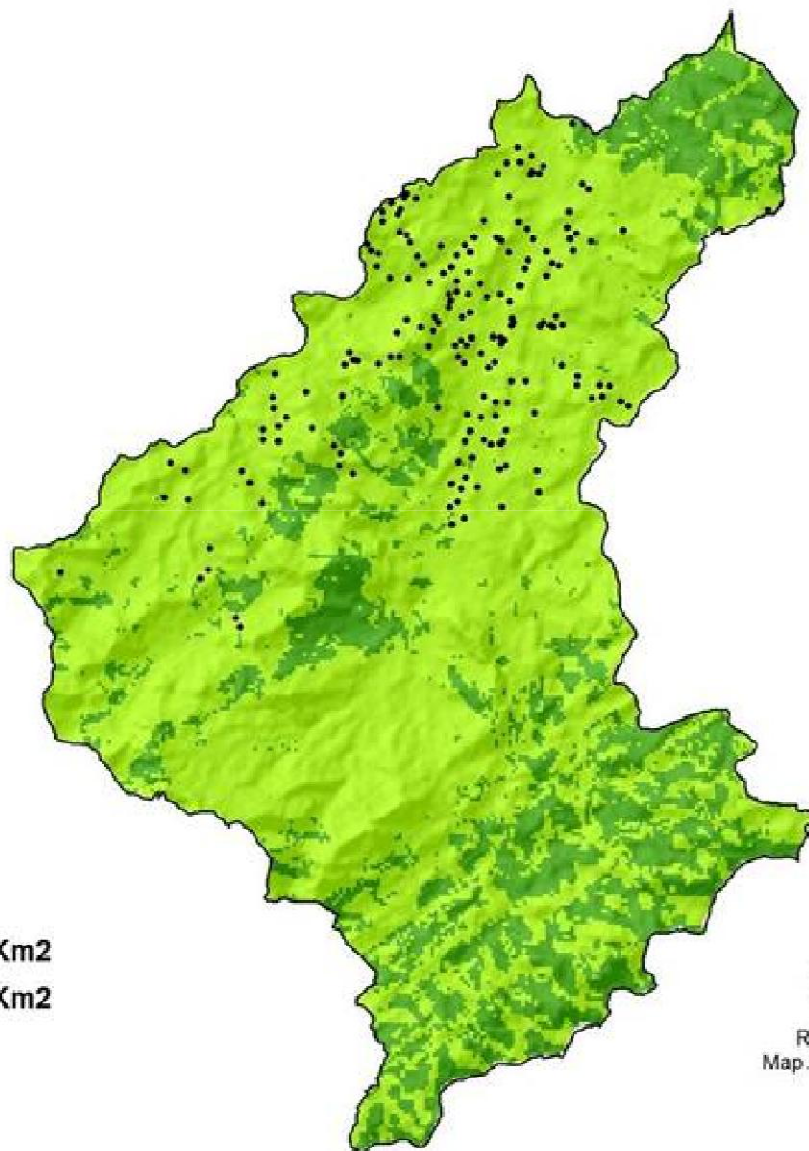


Vulnerabilidade para os dias 07, 08 e 09/01/2011 (respectivamente o 5º, 4º e 3º dia antes do dia do evento)



Vulnerabilidade para o dia 10/01/2011






(2º dia antes do dia do evento)



Legenda

- Escorregamentos

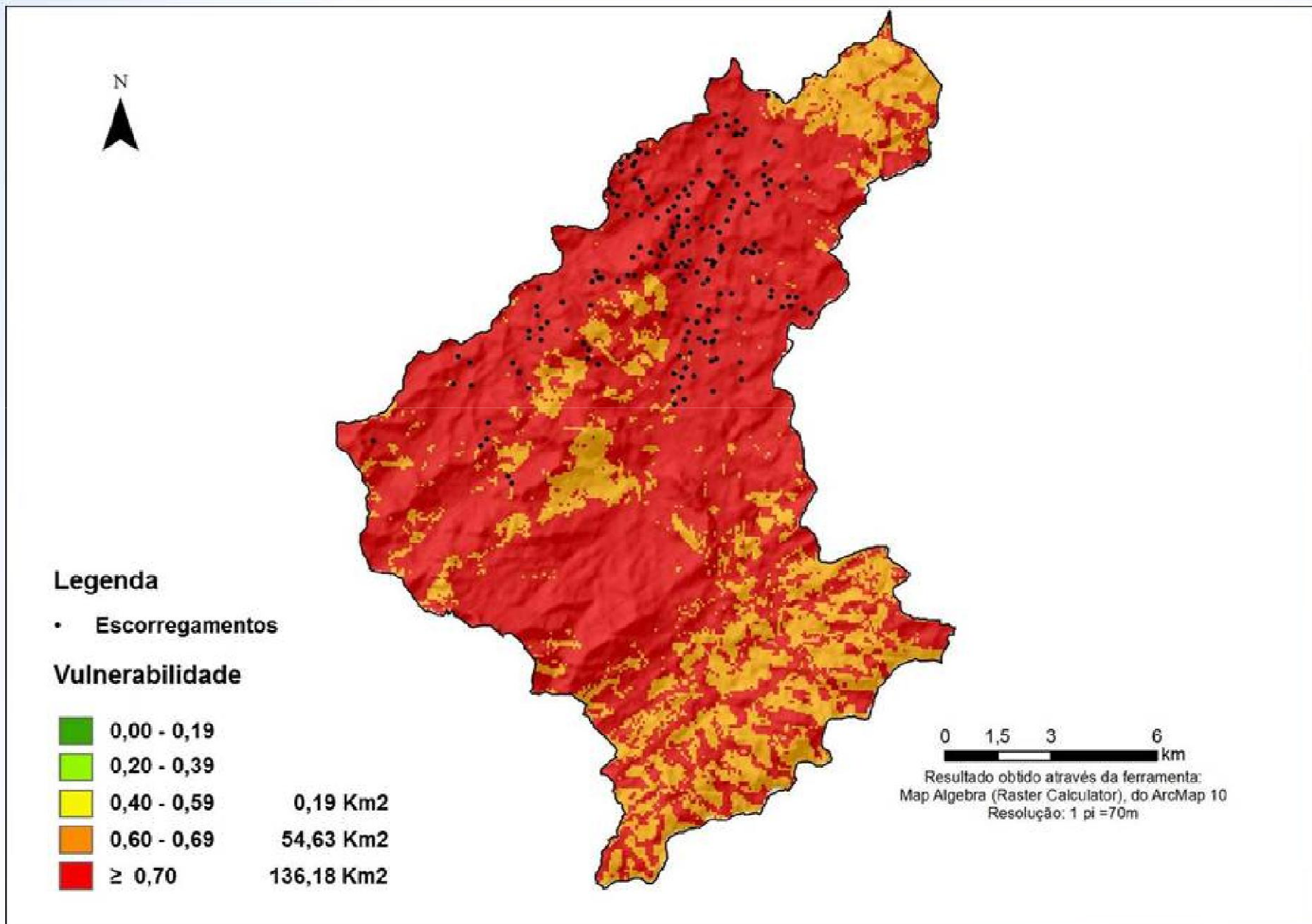
Vulnerabilidade

	0,00 - 0,19	55,58 Km2
	0,20 - 0,39	135,42 Km2
	0,40 - 0,59	
	0,60 - 0,69	
	≥ 0,70	

0 1,5 3 6 km

Resultado obtido através da ferramenta:
Map Algebra (Raster Calculator), do ArcMap 10
Resolução: 1 pi = 70m

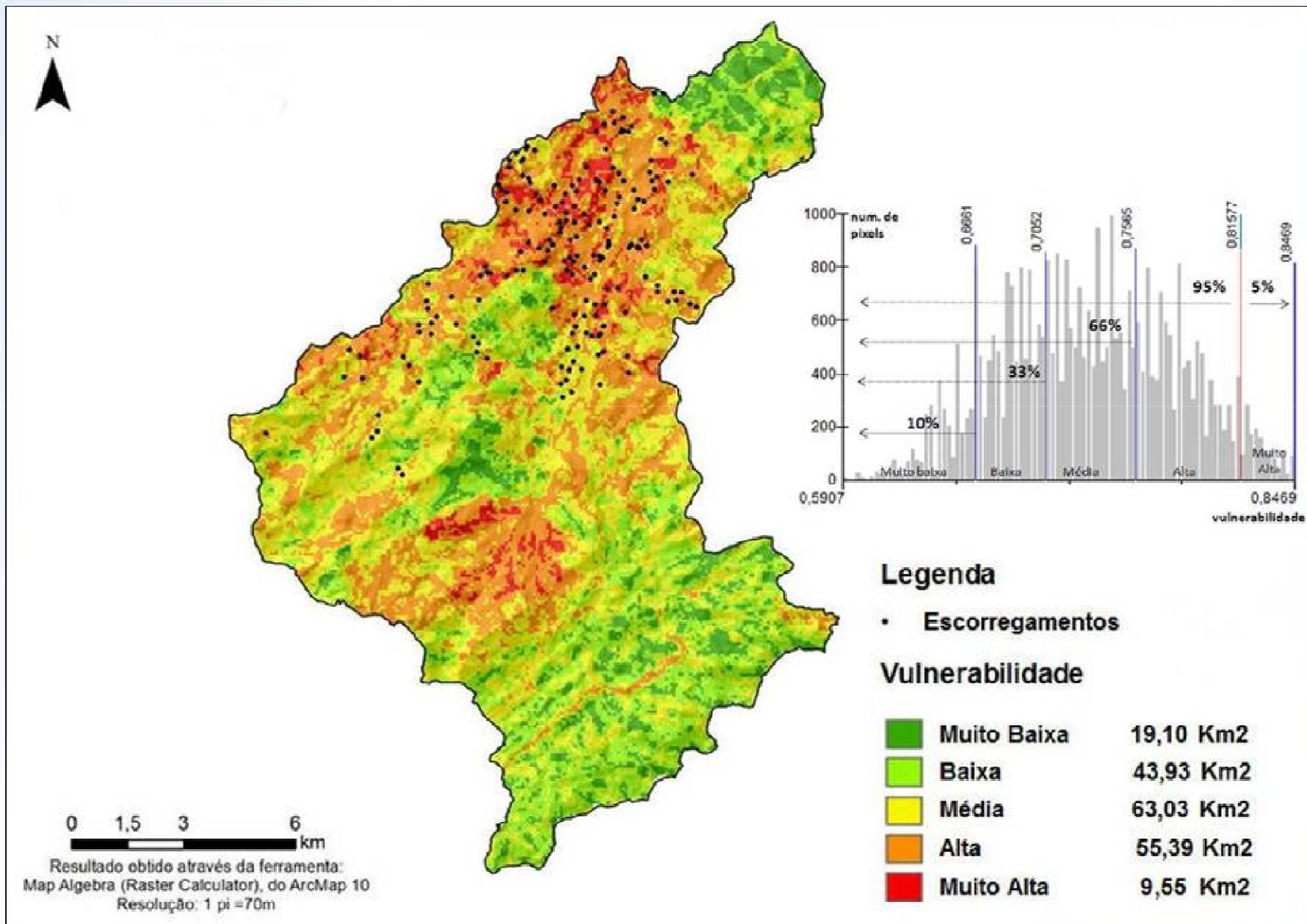
Vulnerabilidade para os dias 11 e 12/01/2011 (1º dia antes do dia do evento e para o dia do evento)



- ✓ **A primeira impressão é de que praticamente toda a área de estudo apresenta a mesma característica, porém a técnica de álgebra de mapas aplicada permite outras formas de categorização das áreas mais críticas da Bacia.**
- ✓ **Na literatura existem diversos estudos validados que indicam que a classe mais crítica de vulnerabilidade ocupa, normalmente, entre 3,5% e 8,0% das bacias analisadas (KAYASTHA et al., 2013; BAI et al., 2009; AYALEW et al., 2004).**

- ✓ Neste trabalho, o limite para a classe de vulnerabilidade “muito alta” foi traçado para o **percentil 95%** como opção de visualização dos resultados apresentados no mapa de vulnerabilidade.
- ✓ Significa que a classe de vulnerabilidade “muito alta” **está acima de 95%** dos valores encontrados na Bacia, representando os **5% mais críticos da área em relação a escorregamentos de terra.**

Vulnerabilidade para os dias 11 e 12/01/2011 (1º dia antes do dia do evento e para o dia do evento)



**Ausência de pixels na cor vermelha (classe muito alta)
próximos a pontos de escorregamentos no mapa de
vulnerabilidade para os dias 11 e 12/01/2011
(1º dia antes do dia do evento e para o dia do evento)**

- ✓ **Cada pixel tem uma resolução de 70 metros (resolução muito baixa para uma Bacia de 191 km²);**
- ✓ **É praticamente impossível de ser visualizado em uma figura(mapa) com 2.729 pixels (total de pixels do mapa de vulnerabilidade da Bacia); e**
- ✓ **Tal questão também foi muito discutida com meus orientadores de Portugal e do Brasil, mas infelizmente inovações relacionadas ao assunto andam a passos lentos.**

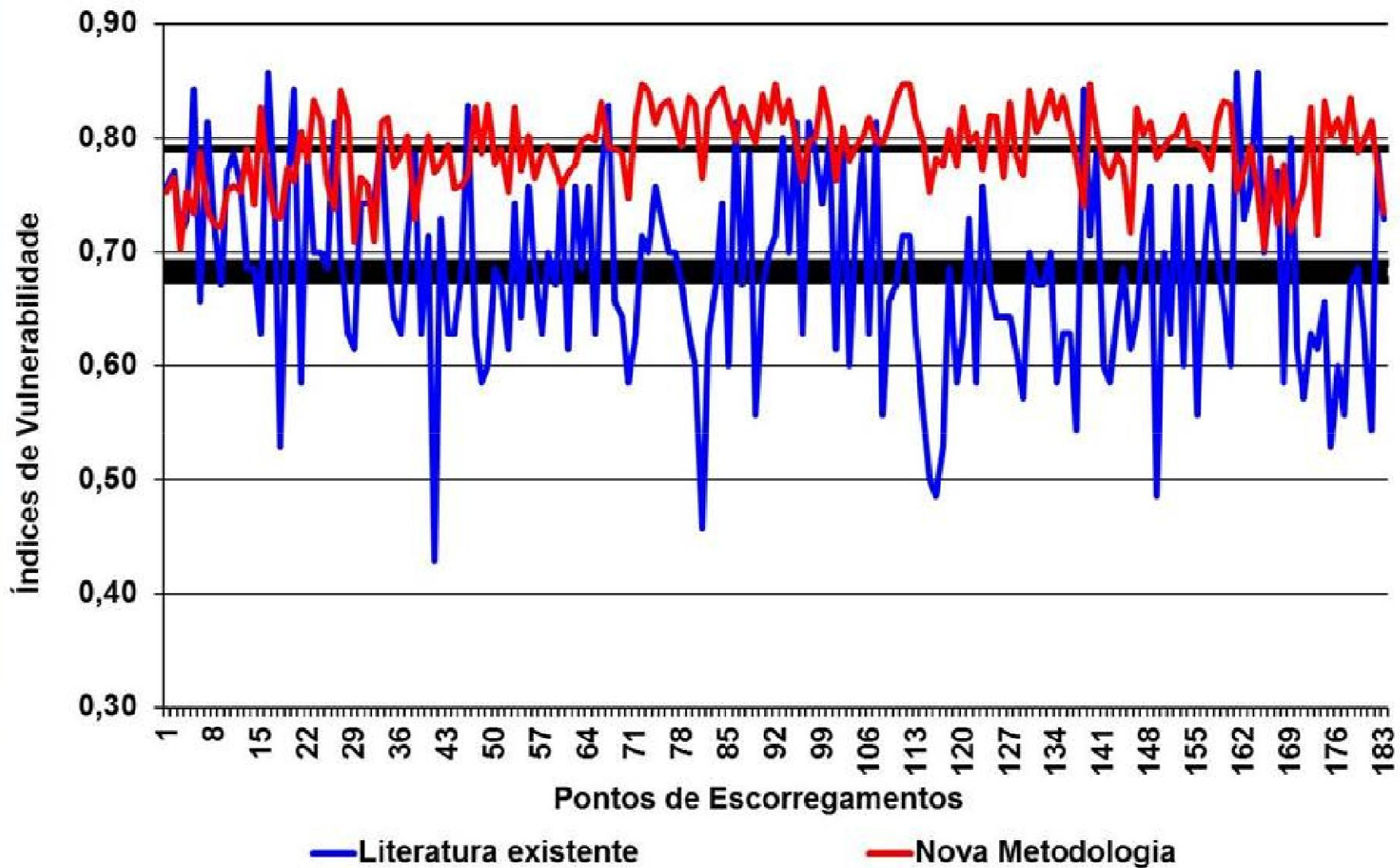
Comparando os Índices de Vulnerabilidade

***Metodologia
existente
na Literatura***

X

***Metodologia
proposta
neste Trabalho***

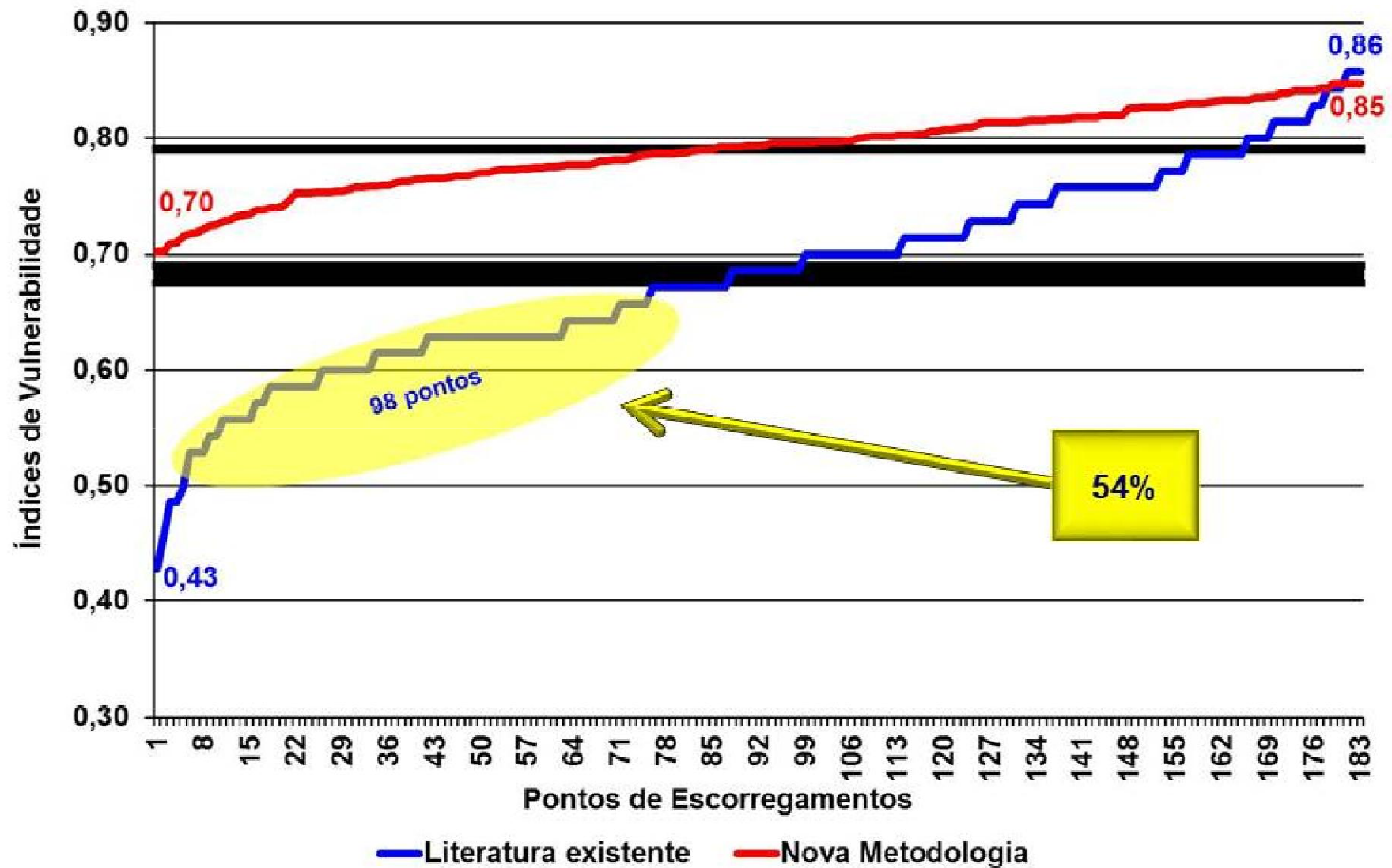
Comparando os Índices de Vulnerabilidade X Metodologias



Literatura existente: índice mínimo de 0,43 e máximo de 0,86 (média simples: 0,68; desvio padrão: 0,09)

Nova metodologia: índice mínimo de 0,70 e máximo de 0,85 (média simples: 0,79; desvio padrão: 0,03)

Índices de Vulnerabilidade na ordem crescente



Literatura existente: índice mínimo de 0,43 e máximo de 0,86 (média simples: 0,68; desvio padrão: 0,09)
Nova metodologia: índice mínimo de 0,70 e máximo de 0,85 (média simples: 0,79; desvio padrão: 0,03)

Conclusões

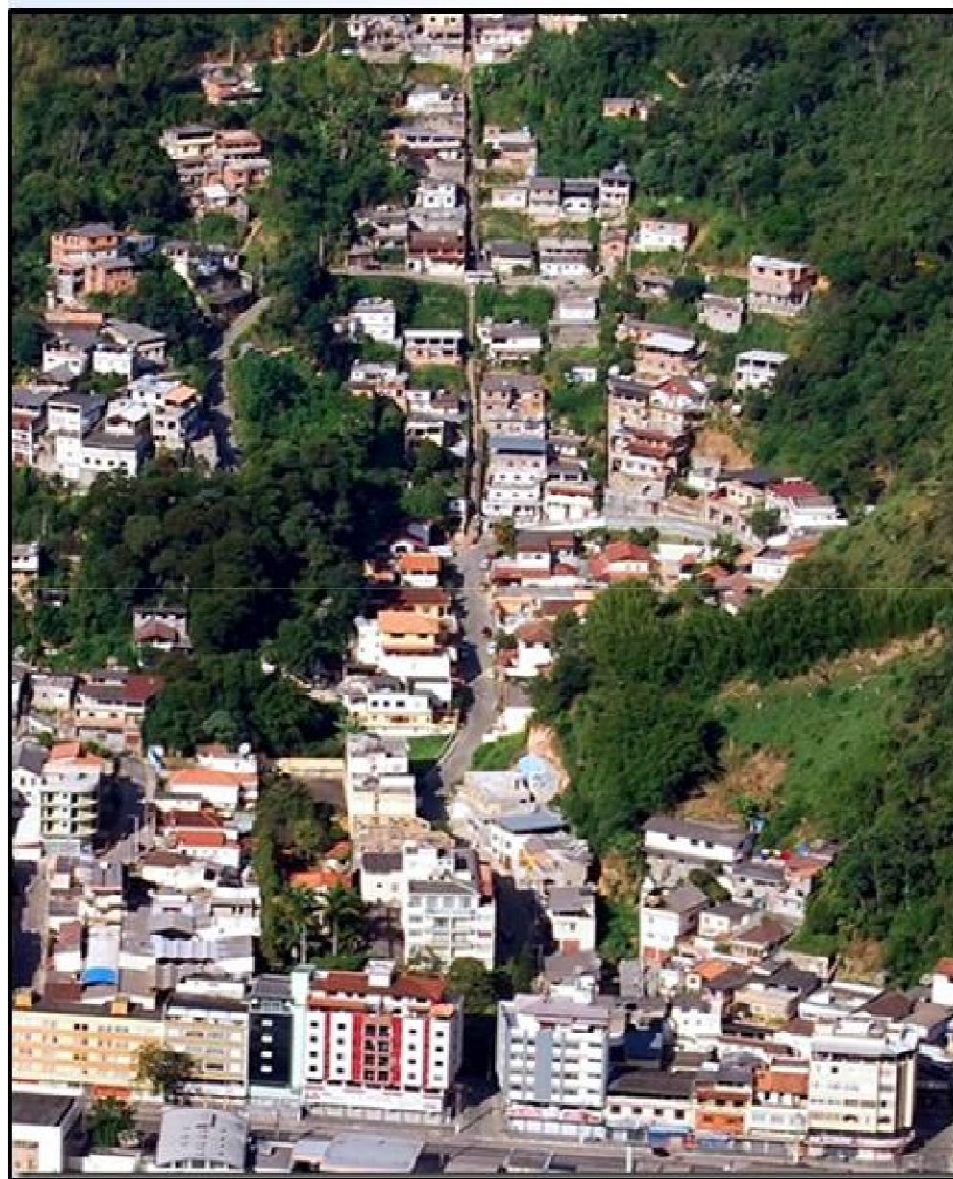
Conclusões

- A metodologia proposta foi eficiente para os 4 eventos de alta precipitação ocorridos na área de estudo, 2 com e 2 sem escorregamentos.
- Se mostrou eficaz, pois foi capaz de registrar todos os 183 escorregamentos, enquanto que a metodologia existente da literatura deixou de apontar 98 (54%) destes desastres.
- Observou-se que quando o índice de vulnerabilidade for $\geq 0,70$ (limiar crítico) para dois 2 dias consecutivos, a incidência destes tipos de desastres é “muito alta”.

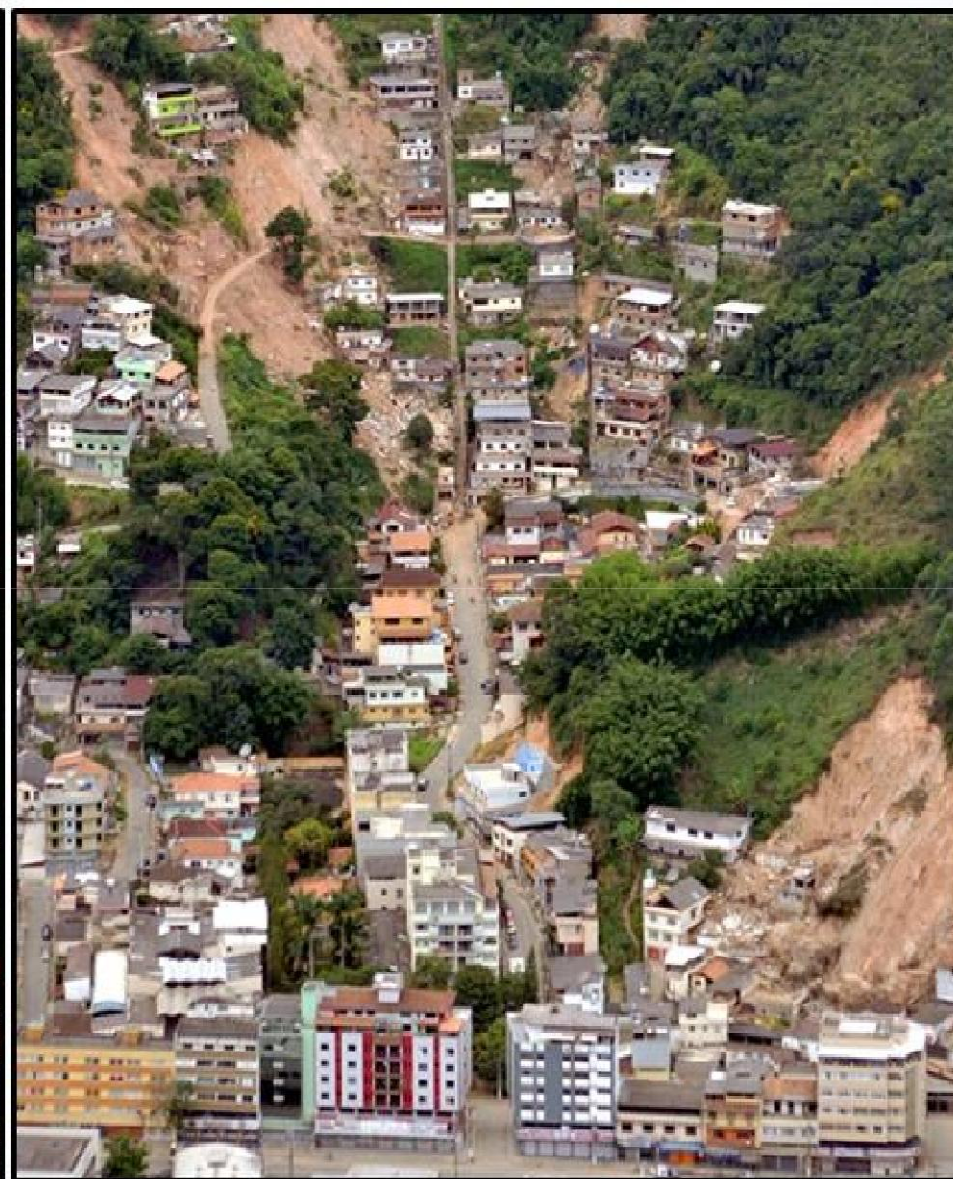
Conclusões

- **Destaca-se a importância de se analisar a Precipitação Acumulada de 5 dias (PA5) de no mínimo dois (2) dias.**
- **Poderá ser utilizada universalmente na prevenção, monitoramento e previsão de escorregamentos de terra por:**
 - **Centros e Institutos de Pesquisas;**
 - **Governos (Federal, Estaduais e Municipais); e**
 - **Gestores públicos e profissionais envolvidos no parcelamento, uso e ocupação do solo.**

Antes do evento



Após o evento





Obrigado!

Dúvidas e sugestões estou à disposição.

Dr. Luiz Tadeu da Silva

CCST / INPE

luiz.tadeu@inpe.br