



17ª SEMANA
NACIONAL DE
CIÊNCIA E
TECNOLOGIA

Inteligência Artificial: A Nova Fronteira da Ciência Brasileira



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL



Suscetibilidade e vulnerabilidade a escorregamentos de terra - Estudo de caso: Bacia do Rio Bengalas, 2011

Irving Rodrigues de Souza

Luiz Tadeu da Silva

Lorena Bonno Bissoli

Beatriz Felix Teixeira

Elsa Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio

Marcelo Barbio Rosa

Jean Pierre Henry Balbaud Ometto



Fonte: <https://www.umnews.org/en/news/hundreds-dead-missing-in-sierra-leone-mudslides-flooding>

MÊS NACIONAL DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES
OUTUBRO | MCTI



17ª SEMANA NACIONAL

DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL:
A NOVA FRONTEIRA DA CIÊNCIA BRASILEIRA

#SNCTMCTI

EDIÇÃO 2020



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

**Agradecimentos à Prof.^a Dr.^a Paula Adriana
Soares da Escola Estadual Oswaldo Cruz,
Cruzeiro – SP pelo convite e participação na
SNCT 2020**

OBJETIVOS

**Desenvolver novas metodologias (modelagens)
para calcular a suscetibilidade e a
vulnerabilidade a escorregamentos de terra,
utilizando dados ambientais e de precipitação
de chuvas.**

Nova Friburgo/RJ
Jan/2011



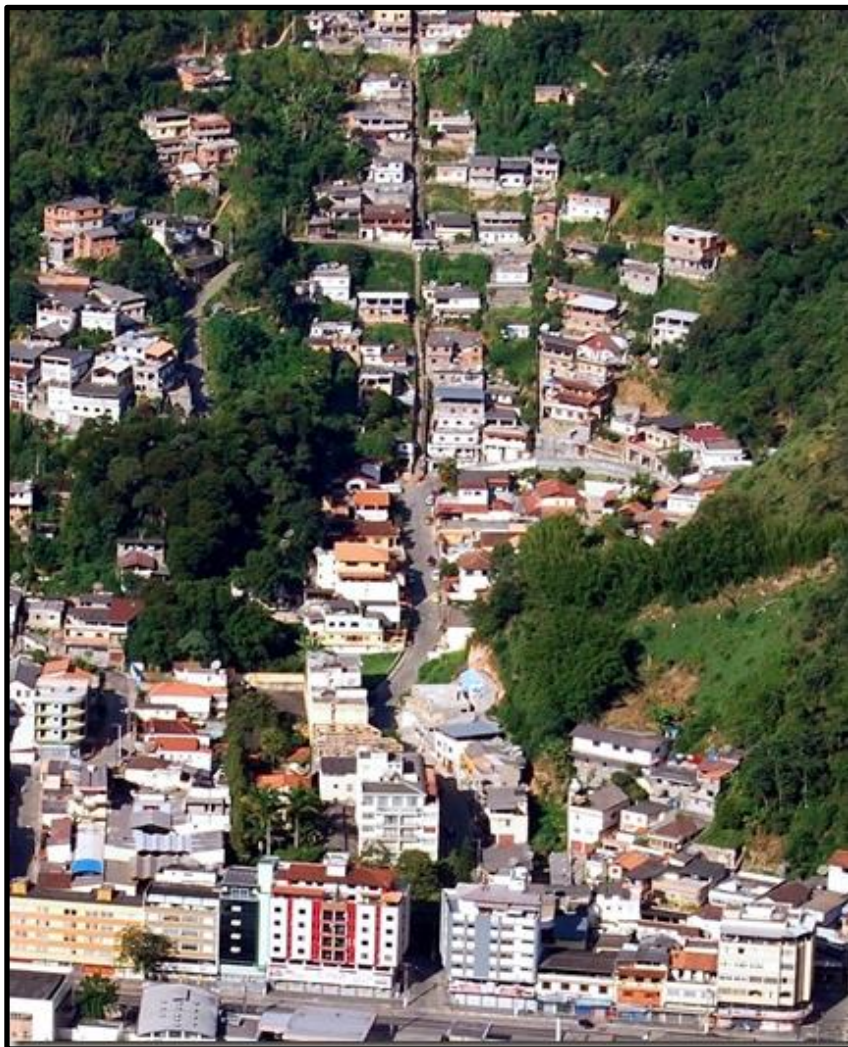
Fonte: <https://veja.abril.com.br/brasil/cidades-brasileiras-enfrentam-o-verao-despreparadas-para-as-chuvas/>

Nova Friburgo/RJ
Jan/2011



Fonte: <https://noticias.band.uol.com.br/noticias/100090389396/nova-friburgo-e-o-municipio-mais-castigado-pela-chuva-na-regiao-serrana-do-rj.html>

Antes e depois dos escorregamentos de terra ocorridos em Nova Friburgo - RJ em janeiro/2011



Fotos: Osmar de Castro - Nova Friburgo - Brasil

<http://acervonovafriburgo.blogspot.pt/2011/03/morro-da-vilage-antes-e-depois-da.html>

CONCEITOS PRINCIPAIS

Suscetibilidade a escorregamentos de terra

É 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

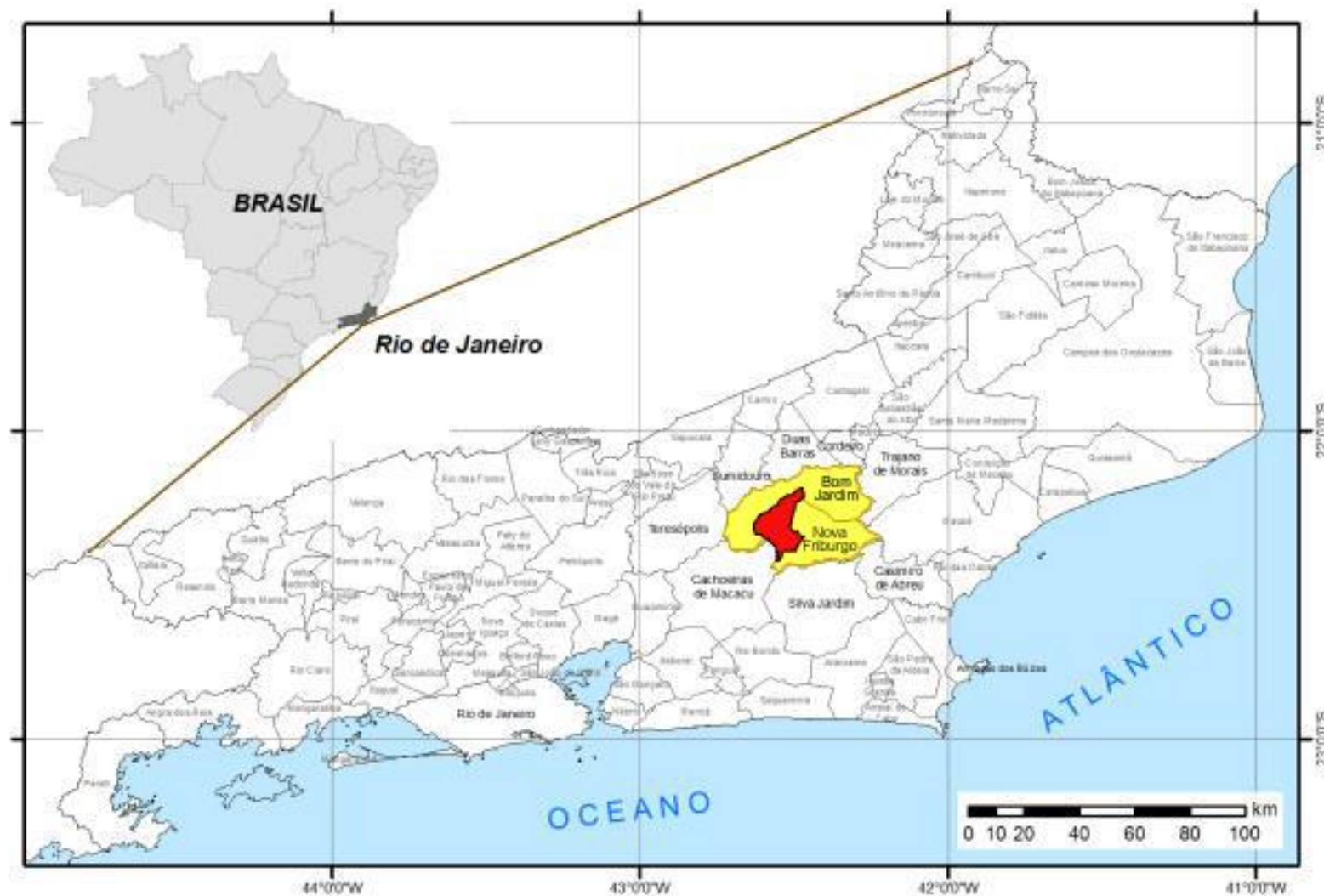
Risco que uma determinada área geográfica tem em sofrer tais desastres, a partir de expressiva ocorrência de precipitação de chuvas nesta área (SILVA, 2014).

ÁREA DE ESTUDO

- ✓ **Bacia Hidrográfica do Rio Bengalas**
- ✓ **Município de Nova Friburgo (RJ)**
- ✓ **Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (RJ)**
- ✓ **Brasil**



ÁREA DE ESTUDO



Fonte: IBGE (2011b) apud Silva (2014).





17ª SEMANA
NACIONAL DE
CIÊNCIA E
TECNOLOGIA

Inteligência Artificial: A Nova Fronteira da Ciência Brasileira



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

MÊS NACIONAL DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES
OUTUBRO | MCTI

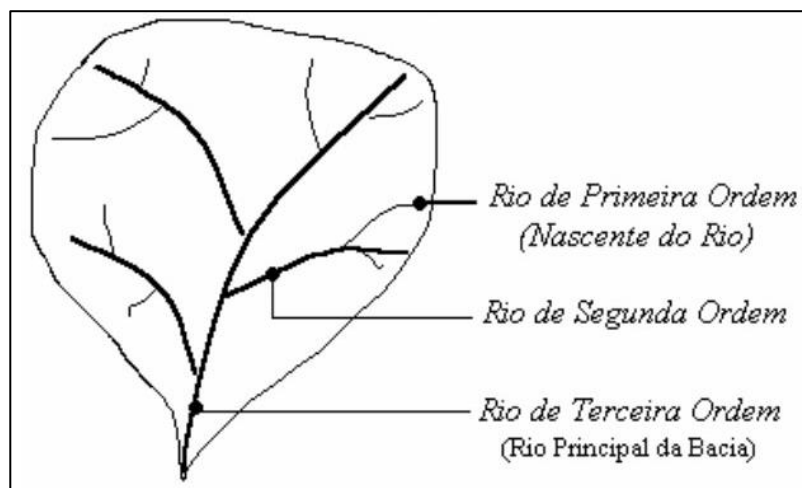
Mas afinal, o que são Bacias Hidrográficas?



Fonte: <https://www.iguiecologia.com/bacias-hidrograficas-do-brasil/>

Bacia Hidrográfica:

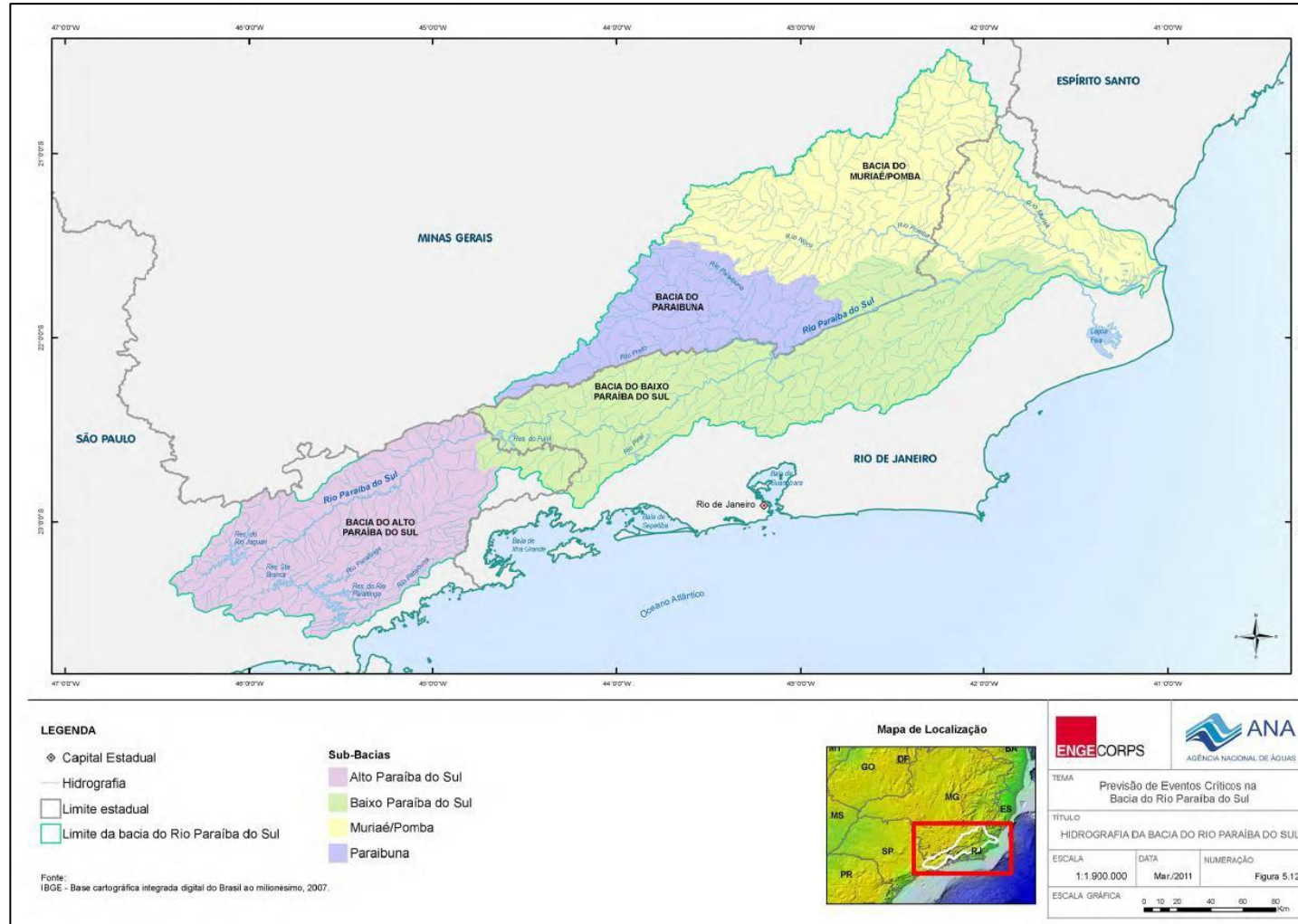
- ✓ Uma bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (SILVEIRA, 2009 *apud* CORREIA; RIBEIRO e BAPTISTA, 2015).
- ✓ É composta basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar um leito único no exutório (SILVEIRA, 2009 *apud* CORREIA; RIBEIRO e BAPTISTA, 2015).



Fonte: Souza (2010)

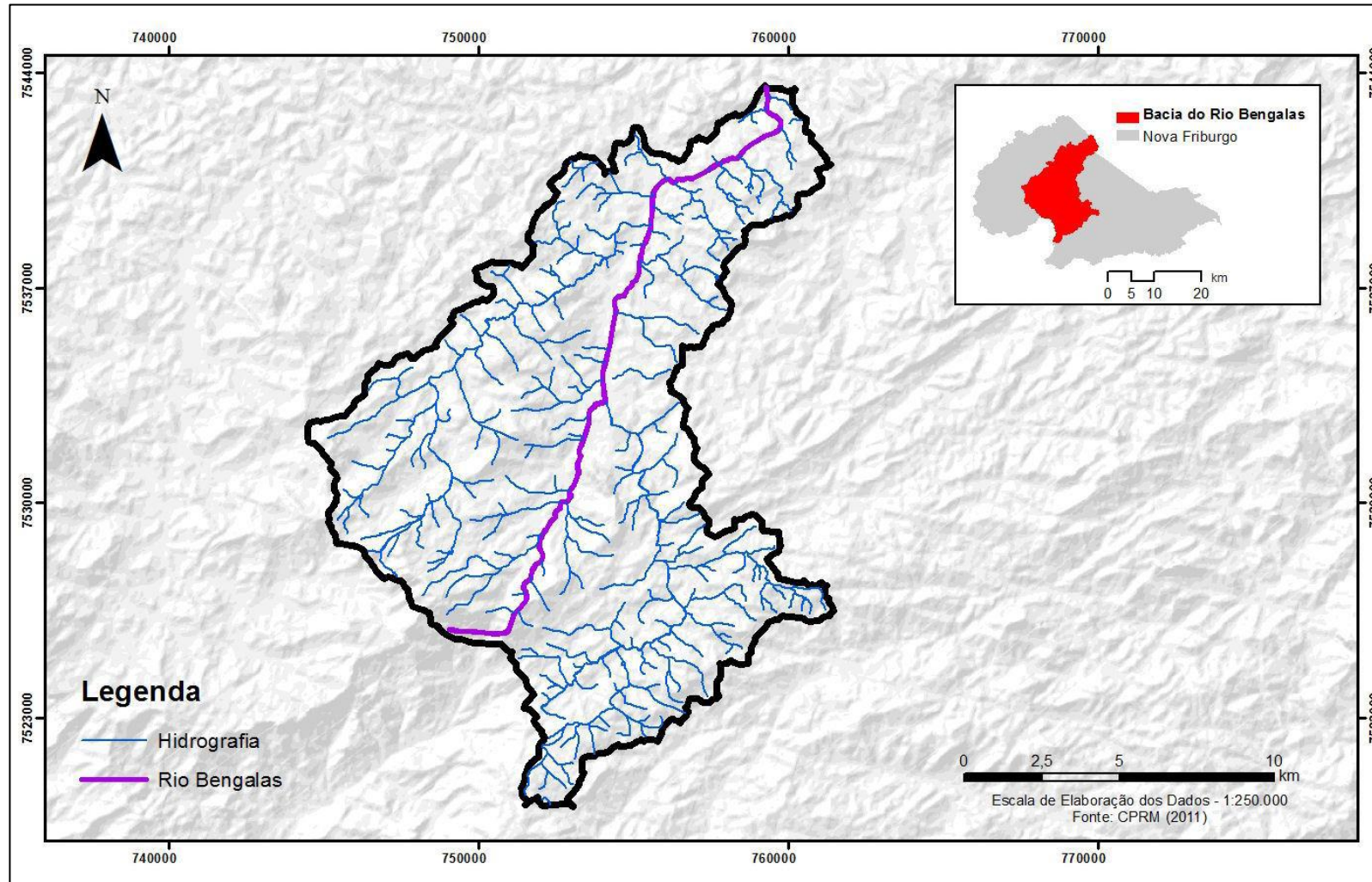


Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul





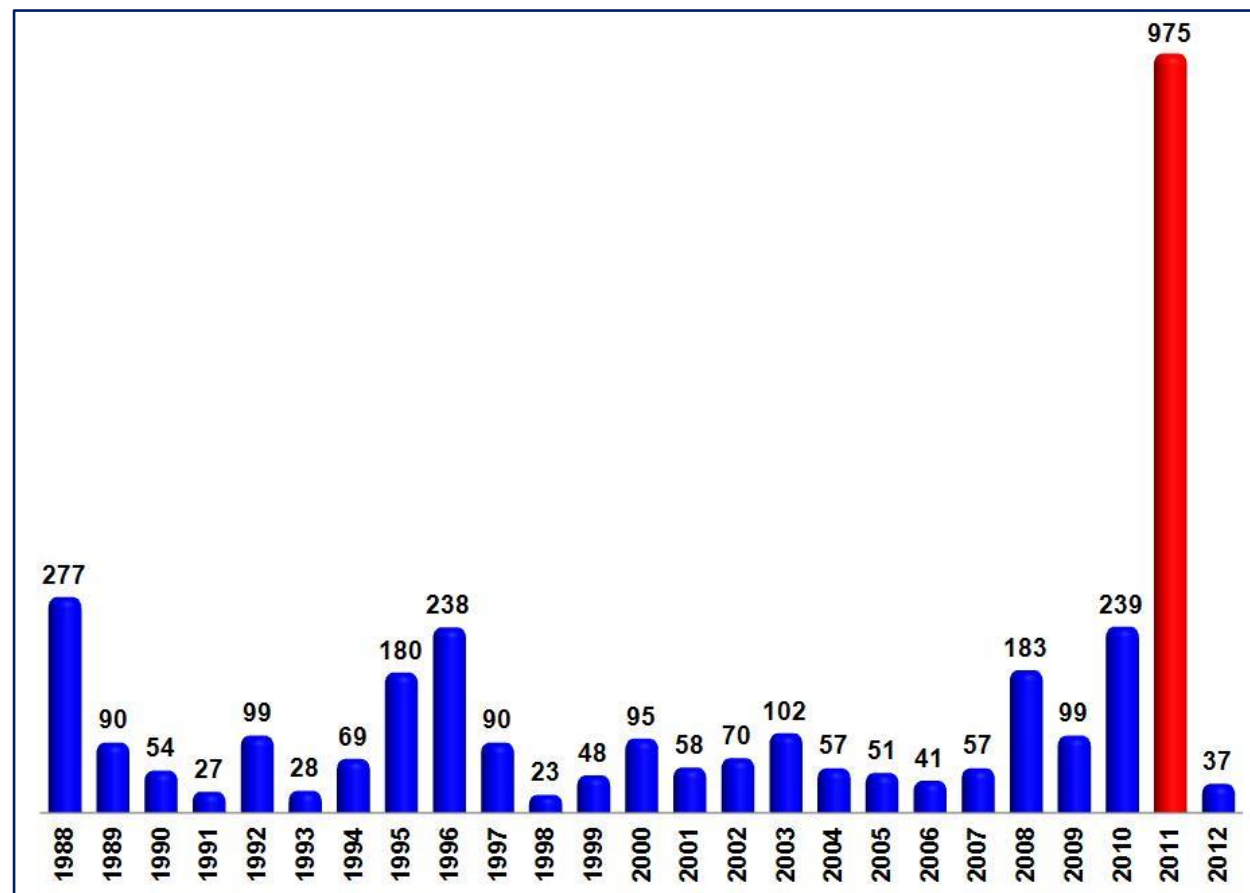
Bacia Hidrográfica do Rio Bengalas



Fonte: Silva (2014).

JUSTIFICATIVAS

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



Fonte: IPT (2009) apud Silva (2014). Dados compilados e organizados pelo Autor

JUSTIFICATIVAS

- ✓ **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**

- ✓ **Em toda Região Serrana do RJ (BANCO MUNDIAL, 2012):**
 - **Custos associados a danos: US\$ 1,17 bilhão;**
 - **Custos associados a perdas: US\$ 1,39 bilhão.**

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 de**

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

Sendo que as chuvas esperadas para o Município para o mês de janeiro eram de 232,1 mm (INMET, 2009).

Porque ocorreram 183 escorregamentos?





17ª SEMANA
NACIONAL DE
CIÊNCIA E
TECNOLOGIA

Inteligência Artificial: A Nova Fronteira da Ciência Brasileira



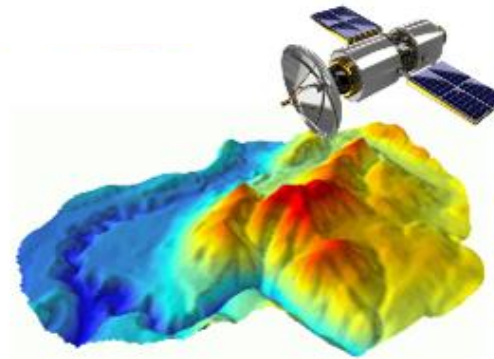
MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL



Desenvolvimento da modelagem através de Geoprocessamento



Fonte: <http://www.clickgeo.com.br/geoprocessamento-projetos-ambientais/>

Softwares de Sistemas de Informações Geográficas (SIG):

- ✓ São softwares que possibilitam a análise, manipulação e geração de dados georreferenciados.

Produtos dos Softwares de SIG:

- ✓ Os mapas são os principais produtos dos softwares de SIG.

“MAPA é a representação no plano, normalmente em escala pequena, dos aspectos geográficos, naturais, culturais e artificiais de uma área tomada na superfície de uma Figura planetária, delimitada por elementos físicos, político-administrativos, destinada aos mais variados usos, temáticos, culturais e ilustrativos.” (IBGE, 1999)

O ArcGIS®:

- ✓ Um pacote de softwares de elaboração e manipulação de informações geográficas para o uso e gerenciamento de bases temáticas (SANTOS, 2009).

Critérios de observação e análise adotadas de cada variável ambiental da área de estudo

Pedologia.....	(tipos de solos)
Litologia.....	(descrição das rochas)
Uso e cobertura do solo.....	(superfície do terreno)
Declividade.....	(ângulo do terreno)
Curvatura horizontal.....	(formas do terreno)
Curvatura vertical.....	(formas do terreno)

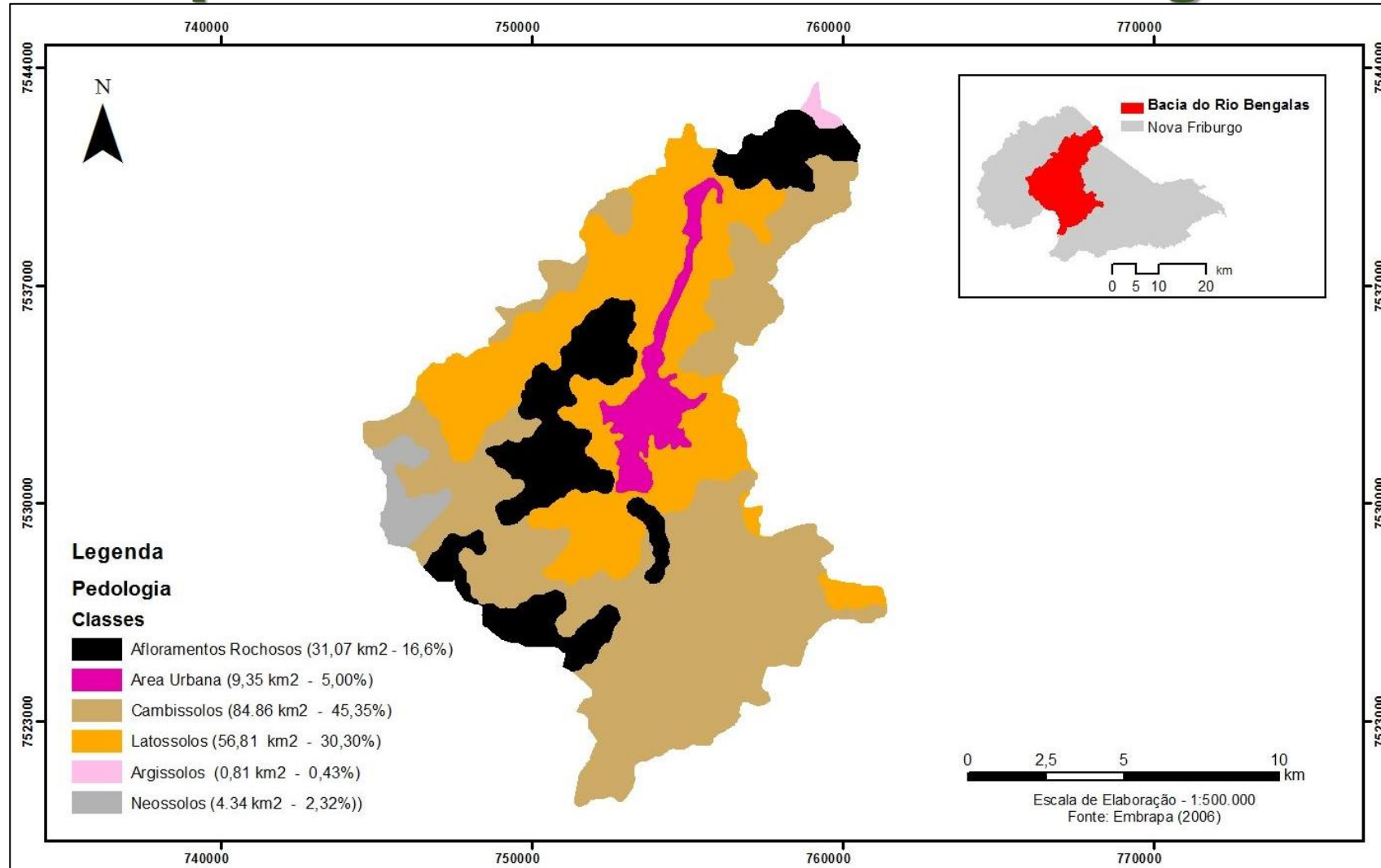
Pesos adotados para cada variável ambiental

- ✓ Pesos que variam de “0,00” a “1,00”, calculados proporcionalmente ao nº de escorregamentos de terra ocorridos na área de estudo; e
- ✓ Atribuição às classes das 6 variáveis ambientais (pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, declividade, curvatura horizontal e curvatura vertical).

	Escorregamentos		Peso
Ex.:	100	—	1,00
	50	—	X
	X = 0,50		



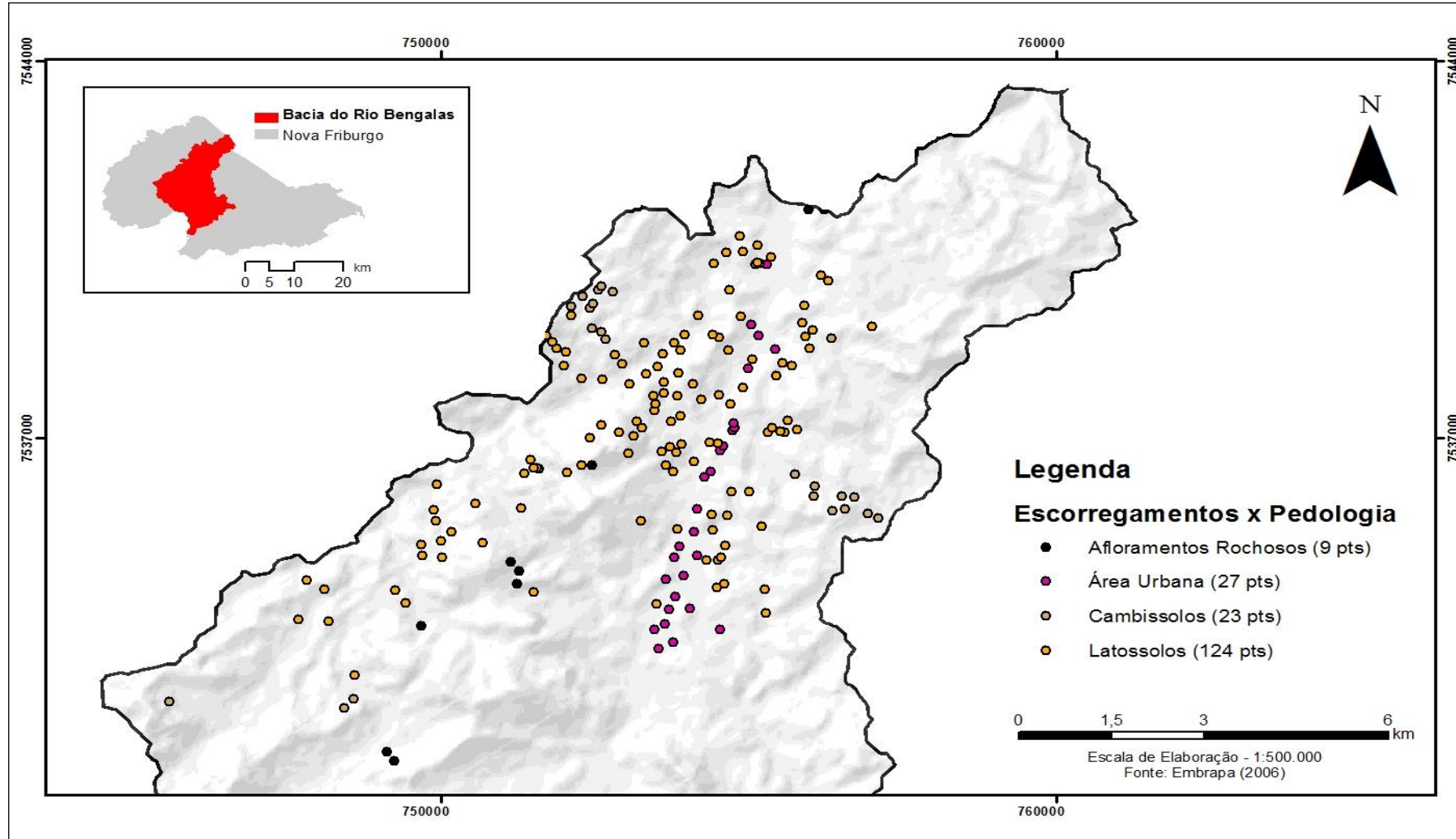
Mapa da Área de Estudo: Pedologia



Fonte: Silva (2014) com dados provenientes da EMBRAPA (2006).



Pontos de escorregamentos X Pedologia



Fonte: Silva (2014) com dados provenientes da EMBRAPA (2006).



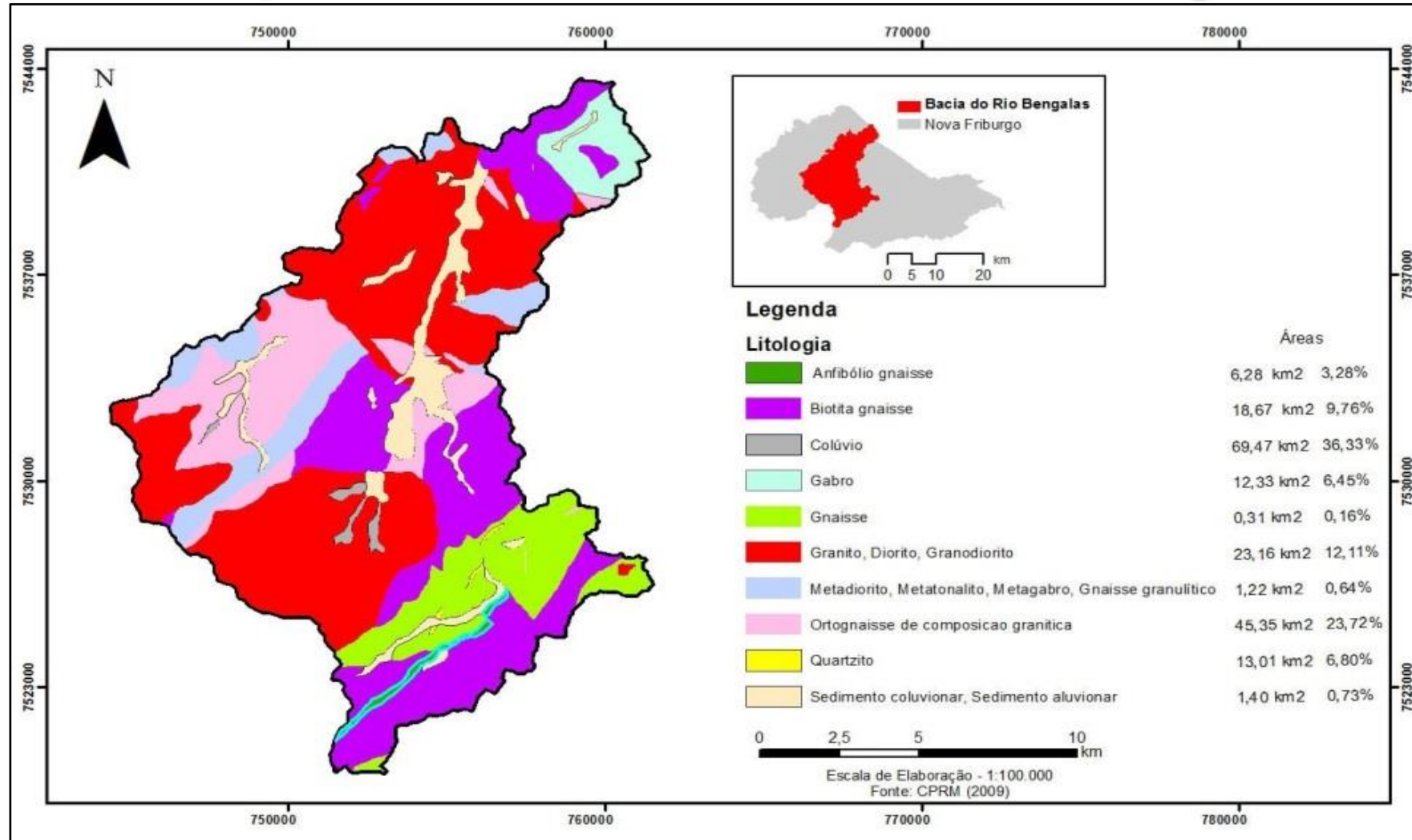
Pesos adotados para a Pedologia

Pedologia	
Cambissolos	0,13
Área Urbana	0,20
Latossolos	0,68
Afloramentos Rochosos	0,00
Argissolos	0,00
Neossolos	0,00
Total	1,00

Fonte: Silva (2014)



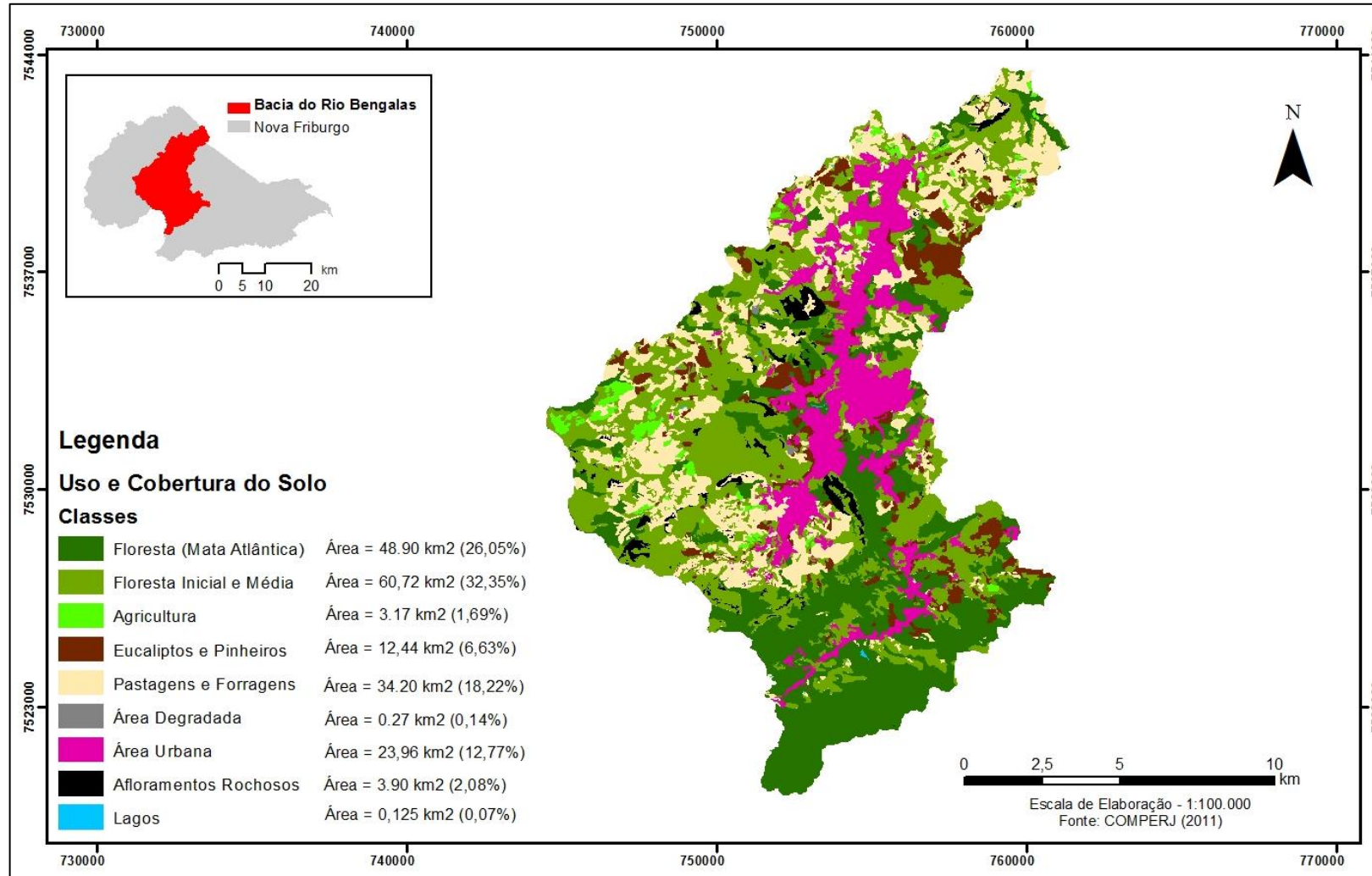
Mapa da Área de Estudo: Litologia



Fonte: Silva (2014) com dados provenientes da CPRM (2009).



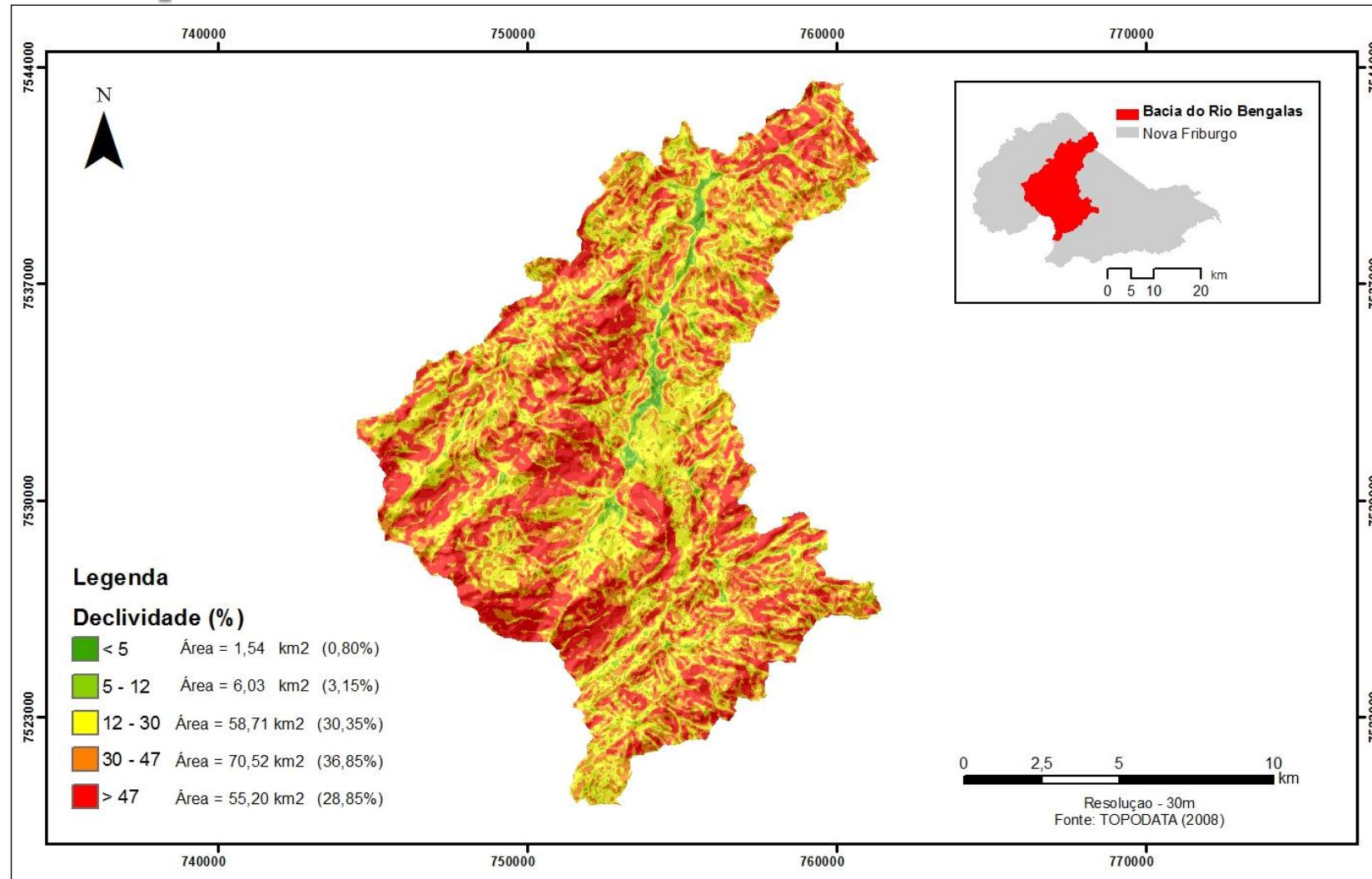
Mapa da Área de Estudo: Uso e Cobertura do solo



Fonte: Silva (2014) com dados provenientes da COMPERJ (2011).



Mapa da Área de Estudo: Declividade



Fonte: Silva (2014) com dados provenientes do TOPODATA (2008).

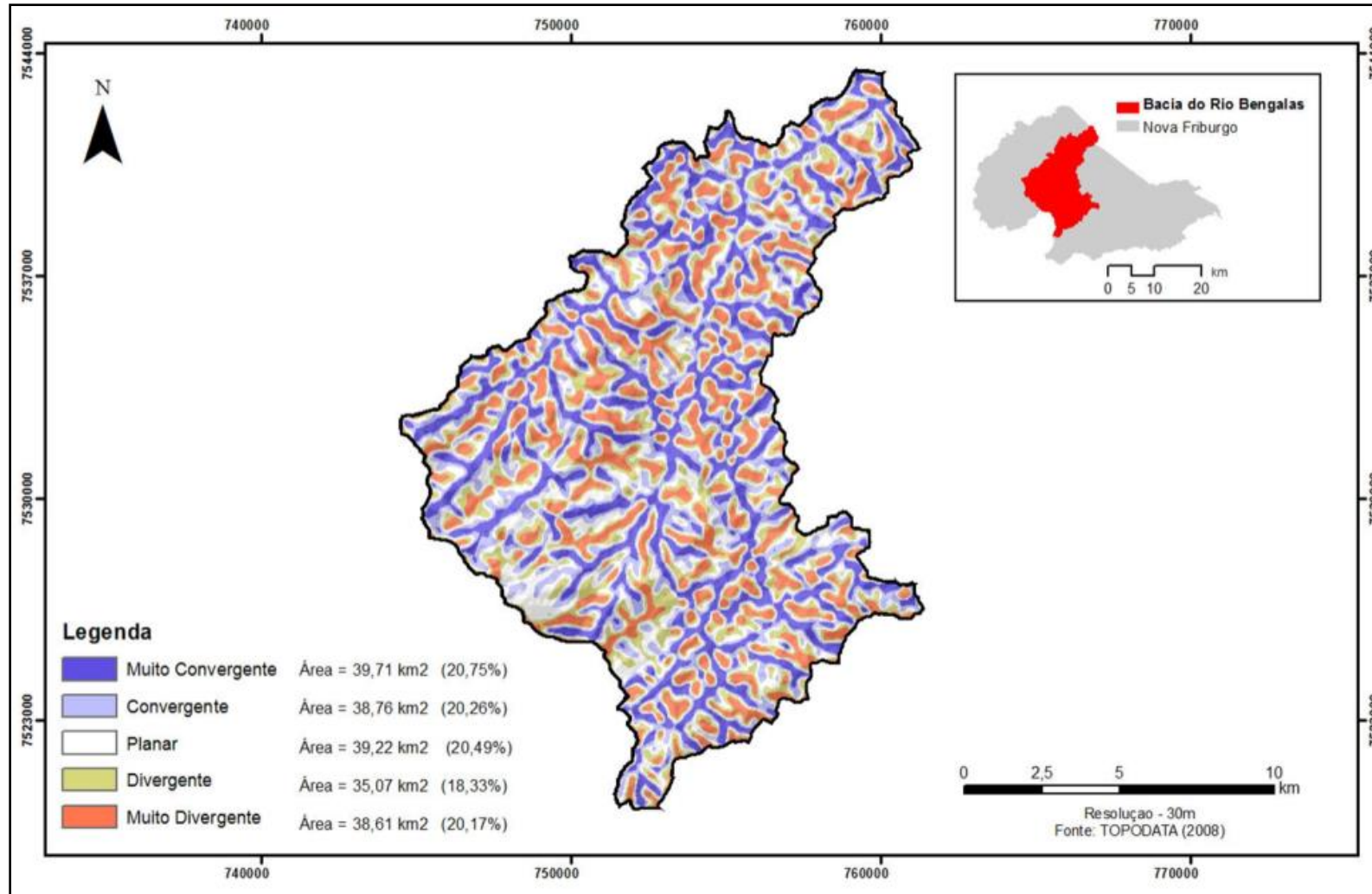
Curvaturas horizontal e vertical

		Curvatura horizontal		
		convergente	planar	divergente
Curvatura vertical	côncava			
	retilínea			
	convexa			

Fonte: Dikau (1990).



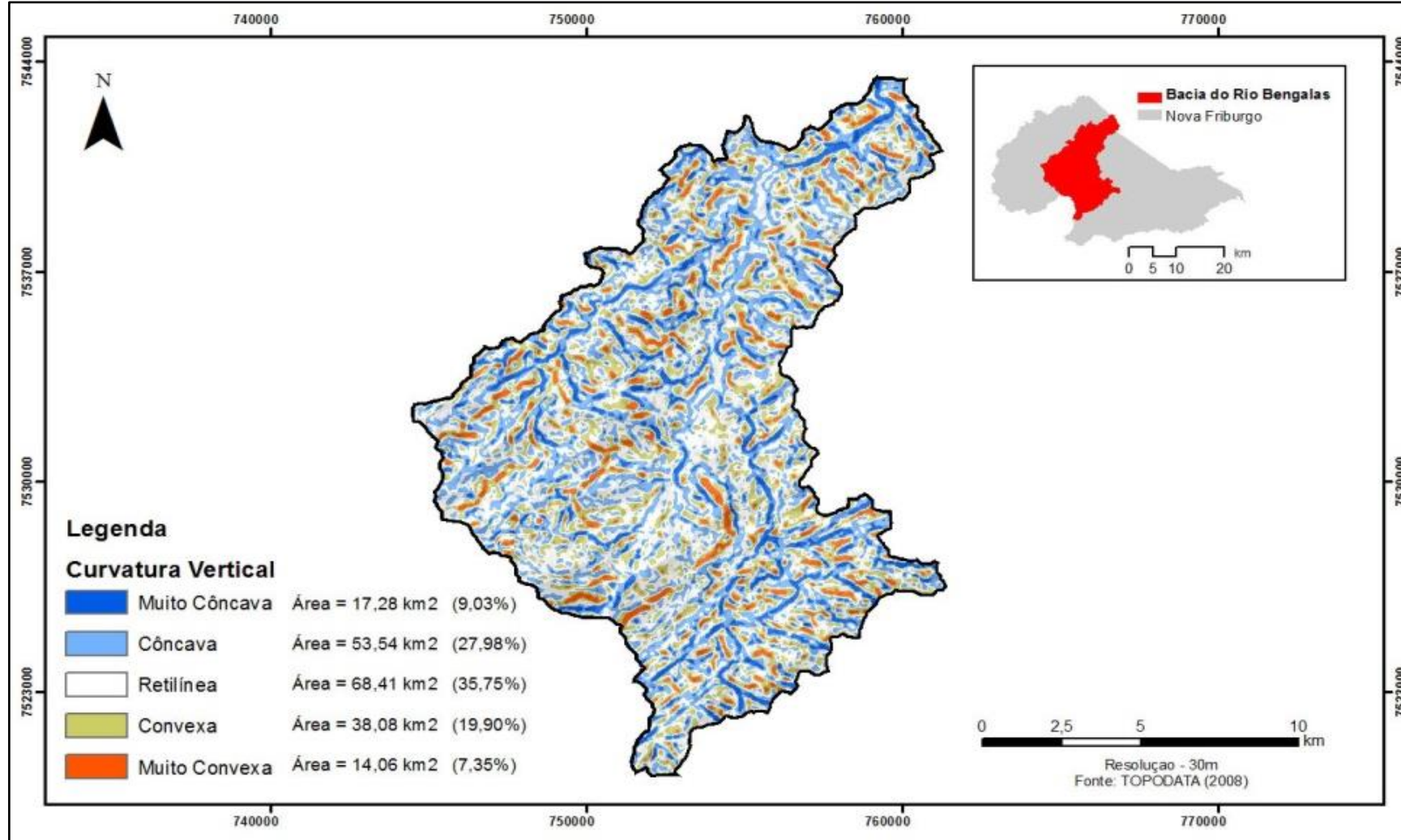
Mapa da área de estudo: Curvatura horizontal



Fonte: Silva (2014) com dados provenientes do TOPODATA (2008).



Mapa da área de estudo: Curvatura vertical



Fonte: Silva (2014) com dados provenientes do TOPODATA (2008).



Resultados finais dos pesos

Variáveis	Pesos Adoptados/ Propostos	Variáveis	Pesos Adoptados/ Propostos
Declividade		Pedologia	
< 5%	0,02	Cambissolos	0,13
5 a 12%	0,03	Área Urbana	0,20
12 a 30%	0,38	Latossolos	0,68
30 a 47%	0,41	Afloramentos Rochosos	0,00
> 47%	0,16	Argissolos	0,00
Litologia		Neossolos	0,00
Rochas Ígneas		Uso e Cobertura do Solo	
Gabro	0,00	Lagos	0,00
Gnaise	0,00	Floresta (Mata Atlântica)	0,04
Granito, diorito e granodiorito; e Metadiorito, metatonalito, metagabro e gnaise granulítico.	0,65	Eucaliptos e Pinheiros	0,01
		Floresta Inicial e Média	0,26
Quartzito	0,00	Pastagens e Forragens	0,19
Ortognaisse de composição granítica.	0,14	Agricultura	0,01
Rochas Metamórficas		Área Degradada	0,01
Anfibólio gnaise	0,00	Afloramentos Rochosos	0,00
Biotita gnaise	0,04	Área Urbana	0,48
Rochas Sedimentares			
Colúvio; e Sedimentos aluvionar e coluvionar.	0,17		
Curvatura Vertical		Curvatura Horizontal	
Muito Convexa	0,03	Muito Divergente	0,10
Convexa	0,08	Divergente	0,10
Retilínea	0,27	Planar	0,19
Côncava	0,39	Convergente	0,33
Muito Côncava	0,23	Muito Convergente	0,28

Fonte: Silva (2014).

Suscetibilidade (S) a escorregamentos de terra Como calcular?

Termo 1

$$S = \left(\frac{\sqrt{Vdc} + \sqrt{Vpd} + \sqrt{Vli} + \sqrt{Vus} + \sqrt{Vcv} + \sqrt{Vch}}{NVA} \right)$$

S	: Suscetibilidade
\sqrt{Vdc}	: Raiz Quadrada da Variável Declividade
\sqrt{Vpd}	: Raiz Quadrada da Variável Pedologia
\sqrt{Vli}	: Raiz Quadrada da Variável Litologia
\sqrt{Vus}	: Raiz Quadrada da Variável Uso e Cobertura do Solo
\sqrt{Vcv}	: Raiz Quadrada da Variável Curvatura Vertical
\sqrt{Vch}	: Raiz Quadrada da Variável Curvatura Horizontal
NVA	: Número de Variáveis (6)

Vulnerabilidade (V) a escorregamentos de terra

Como calcular?

Termo 1
Suscetibilidade

Termo 2
Precipitação

$$V = \frac{\left(\frac{\sqrt{Vdc} + \sqrt{Vpd} + \sqrt{Vli} + \sqrt{Vus} + \sqrt{Vcv} + \sqrt{Vch}}{NVA} \right) + \sqrt{\left[\frac{\left(\frac{PD}{CPC} \right) + \left(\frac{PA5}{MAXPA5} \right)}{2} \right]}}{2}$$

Vulnerabilidade (V) a escorregamentos de terra

Como calcular?

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)

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



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

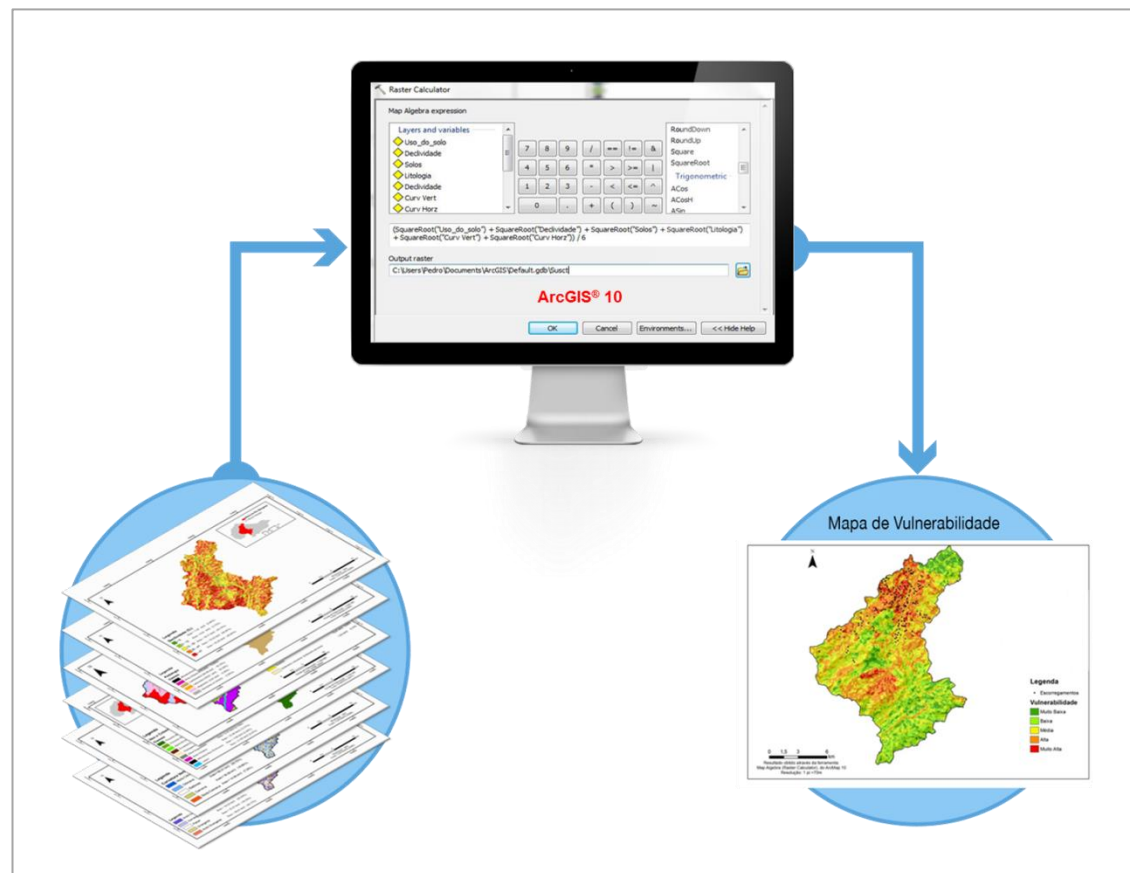
Índices adotados para a classificação da suscetibilidade e da vulnerabilidade

Classes da Suscetibilidade	
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	≥ a 0,70

Fonte: Silva (2014)

RESULTADOS

Os mapas de suscetibilidade e de vulnerabilidade foram gerados por meio...



Fonte: Silva (2014)



17ª SEMANA
NACIONAL DE
CIÊNCIA E
TECNOLOGIA

Inteligência Artificial: A Nova Fronteira da Ciência Brasileira



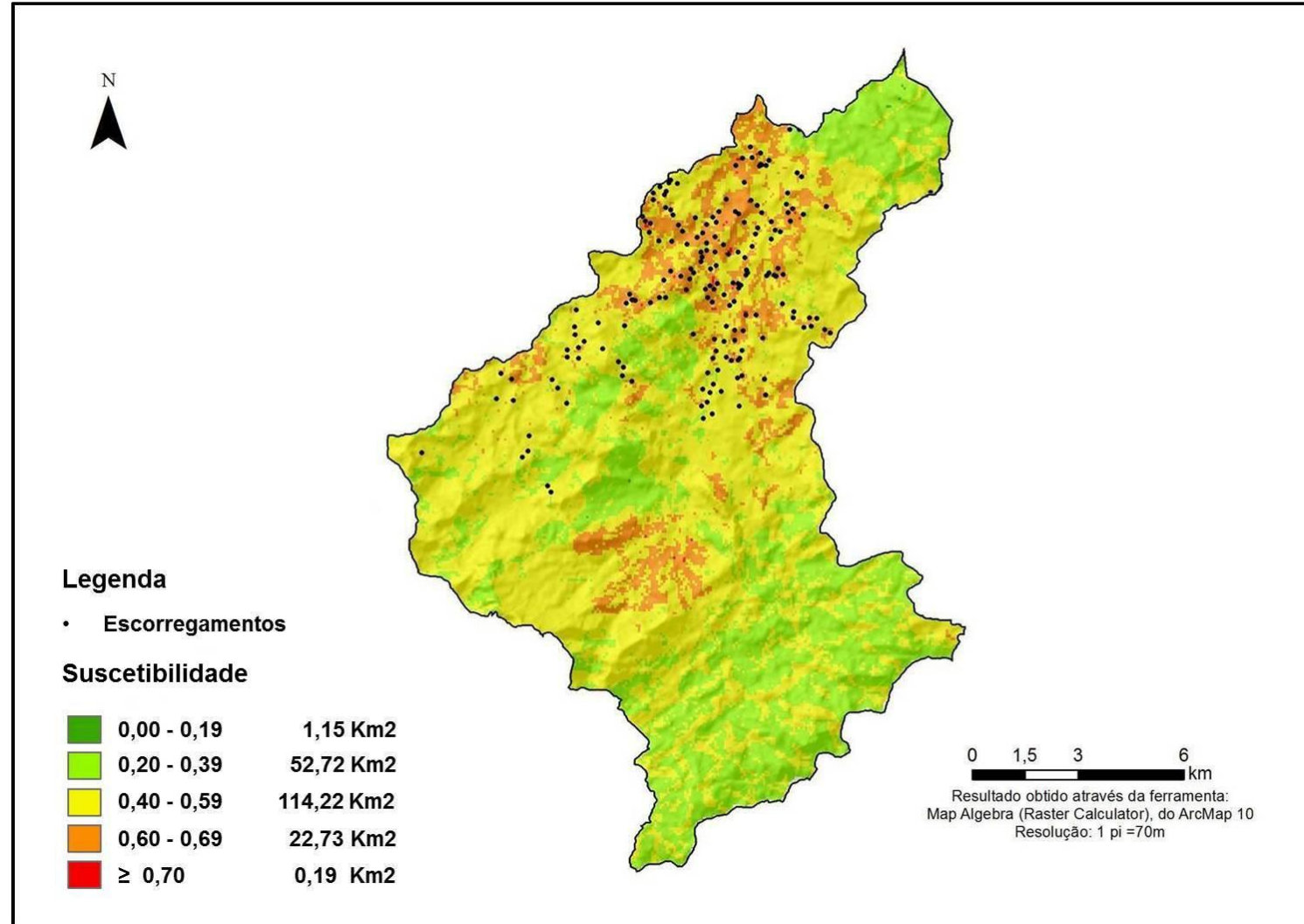
MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

MÊS NACIONAL DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES
OUTUBRO | MCTI

Mapa de Suscetibilidade



Fonte: Silva (2014).



17ª SEMANA
NACIONAL DE
CIÊNCIA E
TECNOLOGIA

Inteligência Artificial: A Nova Fronteira da Ciência Brasileira



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES

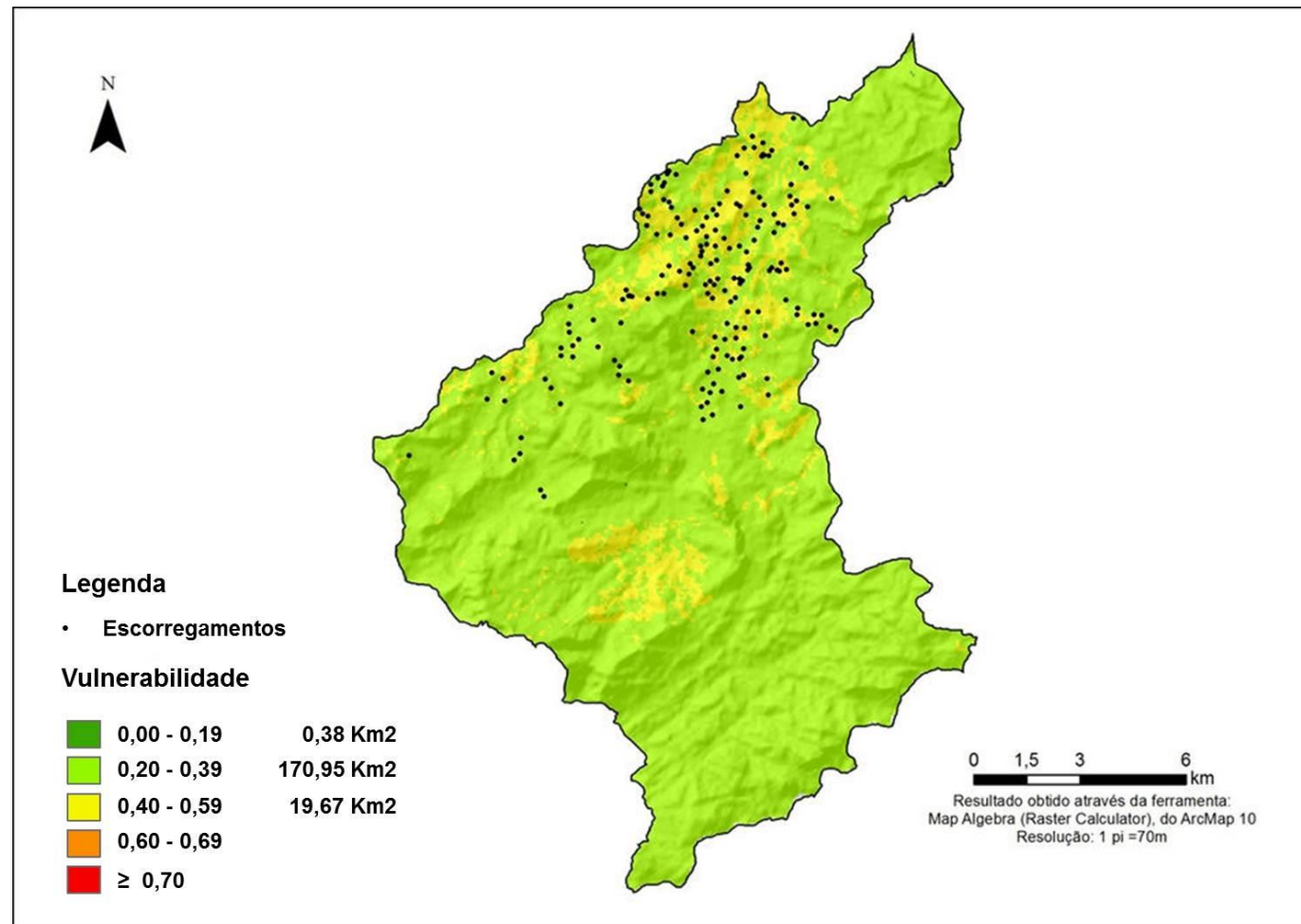


PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL



Vulnerabilidade para os dias 07, 08 e 09/01/2011

(respectivamente o 5º, 4º e 3º dias antes do dia do evento)



Fonte: Silva (2014).



17ª SEMANA
NACIONAL DE
CIÊNCIA E
TECNOLOGIA

Inteligência Artificial: A Nova Fronteira da Ciência Brasileira



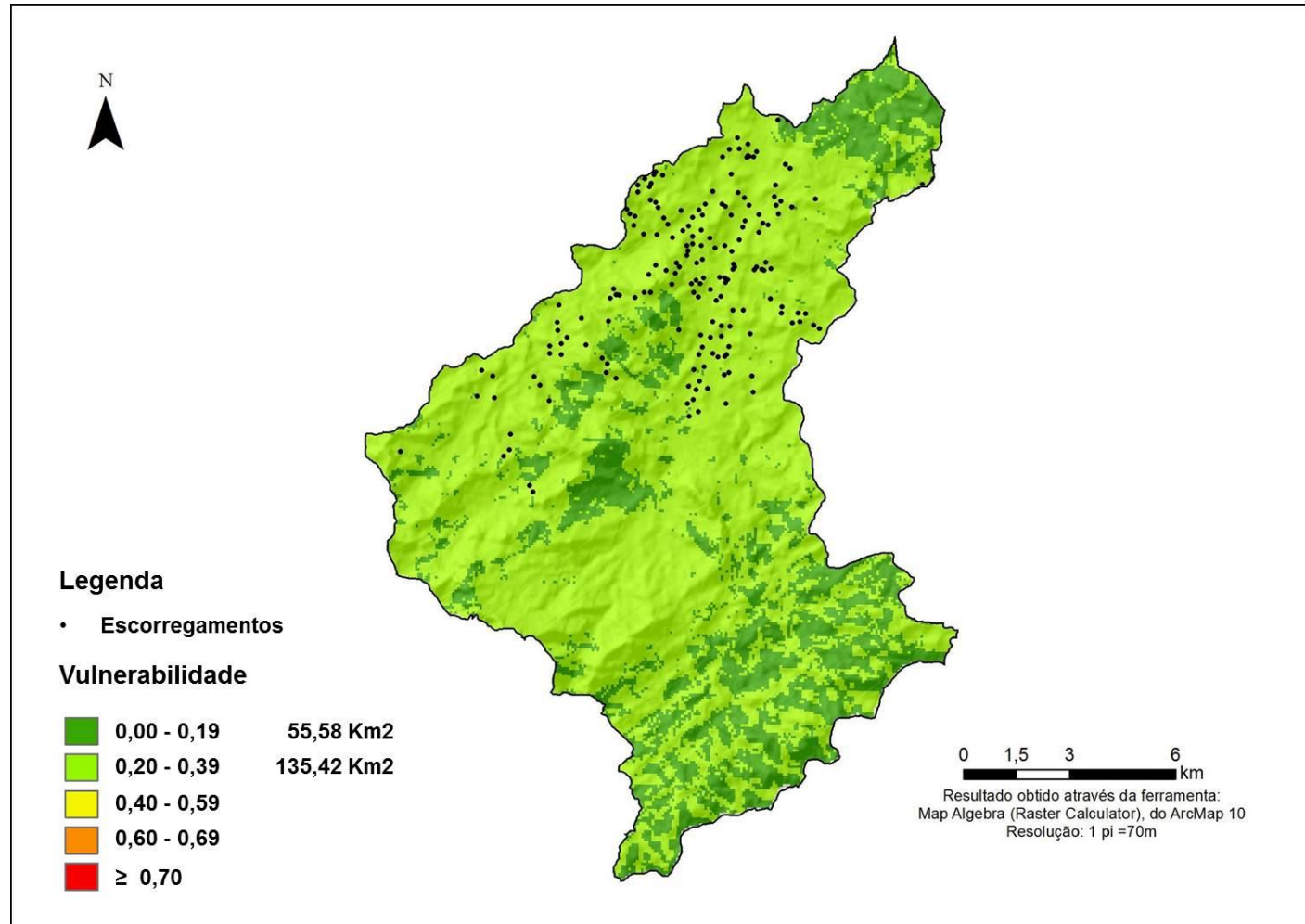
MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL



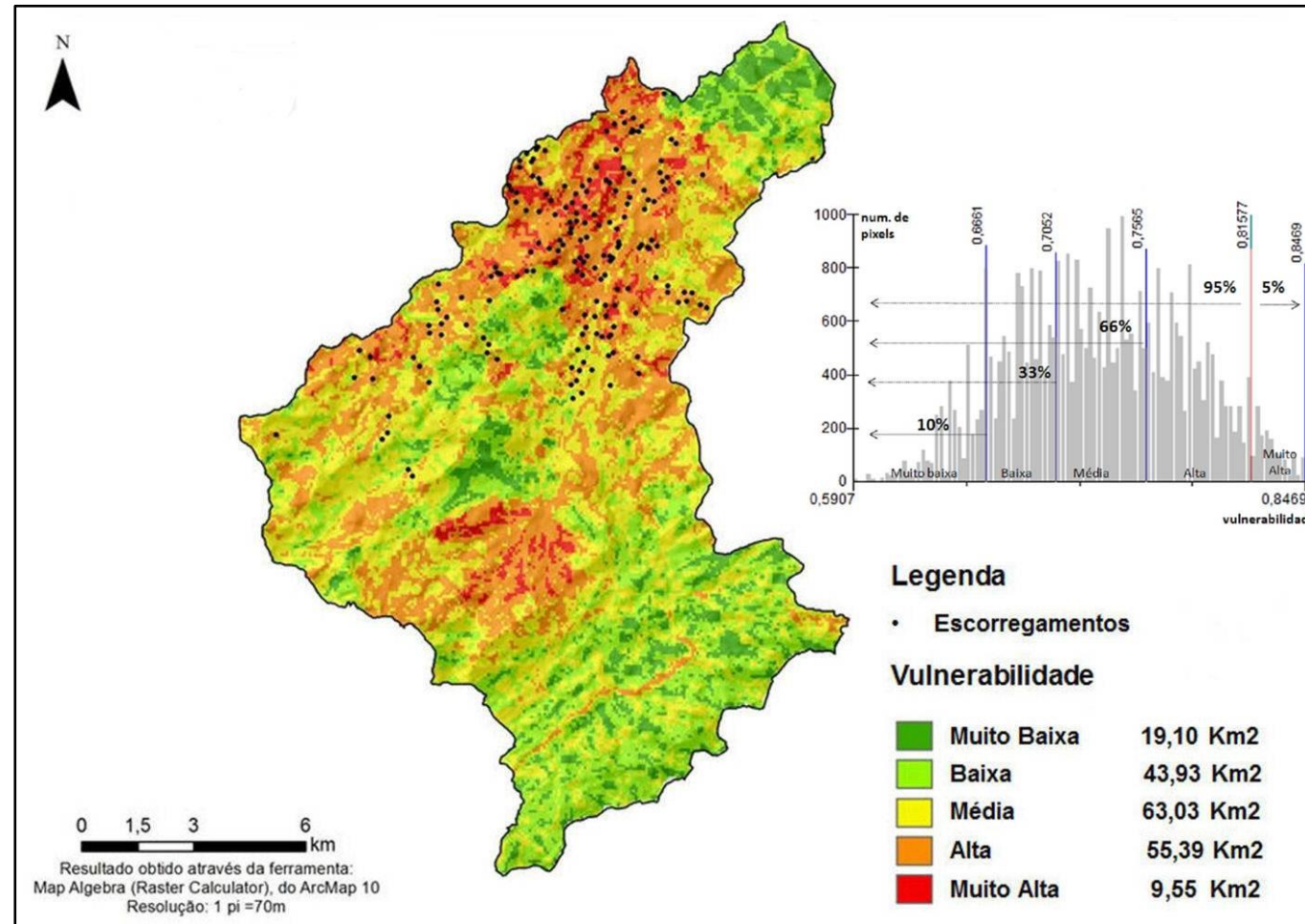
Vulnerabilidade para o dia 10/01/2011 (2º dia antes do dia do evento)



Fonte: Silva (2014).



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



Fonte: Silva (2014).

VALIDAÇÃO

Na validação da metodologia usaram-se dados de:

- ✓ Precipitação acumulada de chuvas para 5 dias (PA5) para medir a magnitude dos eventos; e
- ✓ Os dias 19/01/2005, 04/01/2007, 12/01/2011 e 18/03/2013 tiveram seus dados separados para análise e validação, onde foram registradas precipitações diárias superiores a 80 mm, ocorrendo escorregamentos de terra nos dias 04/01/2007 e 12/01/2011.



Índice Médio da Vulnerabilidade Diária (IMVD)

	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	
19/01/2005		14/01/2005	15/01/2005	16/01/2005	17/01/2005	18/01/2005	19/01/2005
	0	0,49	0,39	0,39	0,49	0,39	0,79
04/01/2007		30/12/2006	31/12/2006	01/01/2007	02/01/2007	03/01/2007	04/01/2007
	350	0,39	0,39	0,39	0,49	0,79	0,79
12/01/2011		07/01/2011	08/01/2011	09/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	12/01/2011
	800	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79
18/03/2013		13/03/2013	14/03/2013	15/03/2013	16/03/2013	17/03/2013	18/03/2013
	0	0,39	0,49	0,39	0,39	0,39	0,79



Fonte: Silva (2014).

- ✓ **Validação: alta eficiência para os 4 eventos de alta precipitação ocorridos na área de estudo, 2 com e 2 sem escorregamentos**
- ✓ **Quando atingido o índice de vulnerabilidade $\geq 0,70$ em dois 2 dias consecutivos, a incidência destes tipos de desastres é “muito alta”.**
- ✓ **Se mostrou uma importante ferramenta na prevenção, monitoramento e previsão de escorregamentos de terra para utilização em:**
 - **Centros e Institutos de Pesquisas;**
 - **Governos (Federal, Estaduais e Municipais); e**
 - **Gestores públicos e profissionais envolvidos no parcelamento, uso e ocupação do solo.**

NOVOS CAMINHOS E DIVULGAÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

Tese de doutorado disponibilizada na comunidade científica

- ✓ Artigo publicado em livro da *Springer International Publishing*;
- ✓ Tese de Doutorado de Luiz Tadeu da Silva - “Vulnerabilidade ao escorregamento de terras - Estudo de caso: Bacia do Rio Bengalas, 2011” publicada no Brasil pelo INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, e disponível em PDF em:

<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/02.24.18.39/doc/publicacao.pdf?metadataarepository=sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/02.24.18.39.47&mirror=sid.inpe.br/mtc-m21b/2013/09.26.14.25.22>

CONCLUSÕES PARA A SNCT

- ✓ **Despertar o interesse científico e o questionamento;**
- ✓ **Investigar as problemáticas das diversas esferas da sociedade;**
- ✓ **Propor novas ideias e metodologias de estudo;**
- ✓ **Desenvolver e validar os estudos; e**
- ✓ **Publicar e disseminar o conhecimento.**

- BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro - janeiro de 2011**. Rio de Janeiro: Banco Mundial, 2012. 63 p. Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://documents1.worldbank.org/curated/pt/260891468222895493/pdf/NonAsciiFileName0.pdf>> Acesso em: 13 out. 2020.
- BBC-BRASIL. **Um ano após tragédia, bairro de Nova Friburgo parece cidade fantasma**. Rafael Spuldar. 13/01/2012. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2012/01/120112_teresopolis_cidade_fantasma_rs.shtml> Acesso em: 13 out. 2020.
- CORREIA, E. F. G.; RIBEIRO, G. P.; BAPTISTA, A. C. **Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de áreas de inundação**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 67, n. 6, 17 fev. 2016. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44636>> Acesso em: 13 out. 2020.
- DIKAU, R. **Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods**. Zeitschrift für Geomorphologie, v. 2, n. 80, p. 45-55, 1990.
- IBGE. 1999. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoos/representacao.html>. Acesso em: 13 out. 2020.

- _____. 2011b. **Dados básicos do Município de Nova Friburgo**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=330340>>. Acesso em: 14. out. 2020.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**/Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília, DF : INMET, 2009. 465 p.: ISBN: 978-85-62817-01-4.
- KAYASTHA, P.; DHITAL, M. R.; SMEDT, F. **Evaluation and Comparison of GIS based Landslide Susceptibility Mapping Procedures in Kulekhani Watershed, Nepal**. Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium. Mountain Risk Engineering Unit, Tribhuvan University, Kirtipur, Kathmandu, Nepal. Central Department of Geology, Tribhuvan University, Kirtipur, Kathmandu, Nepal. JOURNAL GEOLOGICAL SOCIETY OF INDIA. Vol.81, February 2013, pp.219-231.
- SANTOS, R. P. **Introdução ao ArcGIS: Conceitos e comandos. 2009**. Disponível em: <<https://azdoc.tips/preview/apostila-introducao-arccgis-5c1793526faaf>>. Acesso em: 13 out. 2020.
- SILVA, L. T. da. **Vulnerabilidade ao escorregamento de terras Estudo de caso: Bacia do Rio Bengalas, 2011**. 2014. 248 f. Tese (Doutorado em Ciências do Ambiente) - Universidade de Évora, Évora -Portugal, 2014.
- SOUZA, F. F. **Bacias Hidrográficas**. 2010. Disponível em: <<http://www.ufscar.br/aprender/aprender/2010/06/bacias-hidrograficas/>>. Acesso em: 14 out. 2020.

AGRADECIMENTOS

- ✓ À Prof.^a Dr.^a Paula Adriana Soares da Escola Estadual Oswaldo Cruz, Cruzeiro – SP pelo convite e participação na SNCT 2020;
- ✓ À SNCT 2020, pela organização e todos os envolvidos no evento; e
- ✓ Ao MCTI / INPE.

OBRIGADO

Irving Rodrigues de Souza
DIIVA / CGCT / INPE
irving.souza@inpe.br / irvingrods@gmail.com