

# GEOLOGIA AMBIENTAL:

Tecnologias para o desenvolvimento sustentável - Vol. 1

Eduardo de Lara Cardozo  
(Organizador)



Eduardo de Lara Cardozo  
(Organizador)

**GEOLOGIA AMBIENTAL: TECNOLOGIAS PARA O  
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

---

Atena Editora  
2017

2017 by Eduardo de Lara Cardozo

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Edição de Arte e Capa:** Geraldo Alves

**Revisão:** Os autores

**Conselho Editorial**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto (UFPEL)

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho (UnB)

Prof. Dr. Carlos Javier Mosquera Suárez (UDISTRITAL/Bogotá-Colombia)

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior (UEPG)

Prof. Dr. Gilmei Francisco Fleck (UNIOESTE)

Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza (UEPA)

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa (FACCAMP)

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior (UFAL)

Profª Drª Adriana Regina Redivo (UNEMAT)

Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall'Acqua (UNIR)

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson (UTFPR)

Profª Drª Ivone Goulart Lopes (Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatric)

Profª Drª Lina Maria Gonçalves (UFT)

Profª Drª Vanessa Bordin Viera (IFAP)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

G345

Geologia ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável /  
Organizador Eduardo de Lara Cardozo. – Ponta Grossa (PR):  
Atena Editora, 2017.

297 p. : 57.346 kbytes – (Geologia Ambiental; v. 1)

Formato: PDF

ISBN 978-85-93243-39-4

DOI 10.22533/at.ed.3940809

Inclui bibliografia.

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Geologia ambiental. 3. Meio ambiente. 3. Sustentabilidade. I. Cardozo, Eduardo de Lara. II. Título. III. Série.

CDD-363.70

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

2017

Proibida a reprodução parcial ou total desta obra sem autorização da Atena Editora

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

E-mail: [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## Apresentação

Notícias como deslizamentos de encostas, regiões alagadas e ocupações irregulares sempre vêm à tona. E quando ocorrem, normalmente trazem junto a esses fatos, prejuízos econômicos e infelizmente anúncios relacionados à perda de vidas.

Alguns exemplos desses processos são recentes, como o caso do deslizamento de uma encosta em Angra dos Reis em 2010, onde houveram vítimas fatais, outro caso que chamou muito a atenção foi o rompimento, em 2015, de uma barragem de rejeitos no município de Mariana (Minas Gerais), bem como alagamentos em várias regiões brasileiras, são frequentemente divulgadas. Questões ambientais que ocorrem naturalmente, porém com o processo de ocupação irregular e degradação pela ação humana, os resultados nem sempre são positivos.

Os artigos aqui apresentados vêm ao encontro de muitos fatos ocorridos e que normalmente atribuímos apenas a questões ambientais. Porém, sabemos que não é bem assim! O deslizamento é um fenômeno comum, principalmente em áreas de relevo acidentado, as enchentes acontecem logo em seguida às chuvas intensas e em grandes períodos. Situações que há milhares de anos vem se repetindo, porém com o processo de urbanização, a retirada da cobertura vegetal, a ocupação de áreas irregulares, a contaminação do solo, a degradação do ambiente, entre vários outros pontos, acaba sendo intensificada pela constante alteração e ocupação desse espaço geográfico.

No primeiro volume da obra **“Geologia Ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável”** são abordadas questões como: análise da suscetibilidade a deslizamentos, avaliação de cenários sob perigo geotécnico, ordenamento territorial, a importância de estudos específicos considerando as complexidades e diversidades dos diferentes contextos, análise do comportamento geomecânico dos maciços rochosos, caracterização química-mineralógica e da resistência ao cisalhamento, estudos de resistência do meio físico em busca de segurança de instalações e a utilização de software no dimensionamento geotécnico aplicado a fundações profundas.

Neste primeiro volume também são contemplados os seguintes temas: análise da evolução da boçoroca do Córrego do Grito em Rancharia-São Paulo, estudos de áreas suscetíveis a ocorrência de inundações, diagnóstico ambiental voltado à erosão hídrica superficial e cartografia geotécnica, erosão e movimento gravitacional de massa, melhoramento fluvial do rio Urussanga - SC objetivando a redução de impactos associados às chuvas intensas, desassoreamento do Rio Urussanga - SC e caracterização do sedimento, potencialidades dos recursos hídricos na Bacia do Córrego Guariroba -MS.

E fechando este primeiro volume, temos os temas ligados ao: uso de tecnologias alternativas para auxiliar no tratamento de águas residuais, gestão de esgotamento sanitário, estudos sobre a contaminação dos solos por gasolina e

descontaminação através de bioremediação, metodologias que determinam a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, mapeamento geoambiental como subsídio à seleção de áreas para implantação de centrais de tratamento de resíduos sólidos, são apresentados.

Diferentes temas, ligados a questões que estão presentes em nosso cotidiano. Desejo uma excelente leitura e que os artigos apresentados contribuam para o seu conhecimento.

Atenciosamente.

*Eduardo de Lara Cardozo*

## SUMÁRIO

**Apresentação.....03**

### CAPÍTULO I

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA SERRAS CRISTALINAS LITORÂNEAS NO MUNICÍPIO DE BLUMENAU/SC.

*Maurício Pozzobon, Gustavo Ribas Curcio e Claudinei Taborda da Silveira.....08*

### CAPÍTULO II

AValiação DE CENÁRIOS SOB PERIGO GEOTÉCNICO: O CASO DA COMUNIDADE DO MORRO DA MARIQUINHA, FLORIANÓPOLIS-SC.

*Gabriela Bessa, Daniel Galvão Veronez Parizoto, Rodrigo Del Olmo Sato, Nilo Rodrigo Júnior, Murilo da Silva Espíndola e Vítor Santini Müller.....30*

### CAPÍTULO III

AValiação DOS REMANESCENTES FLORESTAIS NA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO O CASO DE SÃO BERNARDO DO CAMPO - SP

*Raquel Alfieri Galera, Fernando Cerri Costa e Ricardo de Souza Moretti.....42*

### CAPÍTULO IV

Caracterização E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS COMPOSTOS PELAS PRINCIPAIS LITOLOGIAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

*Walter dos Reis Junior e Maria Giovana Parizzi.....57*

### CAPÍTULO V

Caracterização GEOTÉCNICA E MINERALÓGICA DE UMA ARGILA FORMADA SOB ATIVIDADE HIDROTÉRMAL

*Marcelo Heidemann, Luiz Antônio Bressani, Juan Antonio Altamirano Flores, Matheus Porto, Breno Salgado Barra e Yader Alfonso Guerrero Pérez.....73*

### CAPÍTULO VI

PROPOSIÇÕES PARA UM CISALHAMENTO DIRETO DE CAMPO: ALTERNATIVA EM MAPEAMENTOS GEOTÉCNICOS.

*Vitor Santini Müller, Nilo Rodrigues Júnior, Murilo da Silva Espíndola, Regiane Mara Sbroglia, Rafael Augusto dos Reis Higashi e Juan Antonio Altamirano Flores.....89*

### CAPÍTULO VII

USO DE MODELO GEOLÓGICO DIGITAL COMO FERRAMENTA DE ORIENTAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO

*Carlos Magno Sossai Andrade, Patrício José Moreira Pires e Rômulo Castello Henrique Ribeiro.....102*

#### CAPÍTULO VIII

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA BOÇOROCA DO CÓRREGO DO GRITO EM RANCHARIA-SP DE 1962 A 2014

*Alyson Bueno Francisco.....118*

#### CAPÍTULO IX

CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM COMO SUBSÍDIO AO ESTUDO DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NAS MICROBACIAS DO MÉDIO RIO GRANDE

*Eduardo Goulart Collares, Ana Carina Zanollo Biazotti Collares, Jéssica Avelar Silva e Amanda Francieli de Almeida.....126*

#### CAPÍTULO X

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SUPERFICIAL DO MUNICÍPIO DE PACOTI NO ESTADO DO CEARÁ. EROSIVIDADE, ERODIBILIDADE E UNIDADES DE RELEVO PARA GEOTECNIA

*Francisco Kleison Santiago Mota, Jean Marcell Pontes de Oliveira, Naedja Vasconcelos Pontes, César Ulisses Vieira Veríssimo e Sônia Maria Silva de Vasconcelos.....138*

#### CAPÍTULO XI

MAPEAMENTO DE AMEAÇAS E DESASTRES NATURAIS NA ÁREA URBANA DE SANTARÉM - PA

*Fábio Ferreira Dourado e Milena Marília Nogueira de Andrade.....160*

#### CAPÍTULO XII

MELHORAMENTO FLUVIAL DO RIO URUSSANGA PERTENCENTE À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUSSANGA, SUL DE SANTA CATARINA

*Sérgio Luciano Galatto, Gustavo Simão, Jader Lima Pereira, Nadja Zim Alexandre e Vilson Paganini Belletini.....174*

#### CAPÍTULO XIII

METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO DO RIO URUSSANGA-SC PARA FINS DE DEPOSIÇÃO

*Nadja Zim Alexandre, Carlyle Torres Bezerra de Menezes, Gustavo Simão, Jader Lima Pereira e Sérgio Luciano Galatto.....190*

#### CAPÍTULO XIV

POTENCIALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO CÓRREGO GUARIROBA, MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE-MS

*Giancarlo Lastoria, Sandra Garcia Gabas, Guilherme Henrique Cavazzana, Juliana Casadei e Tamiris Azoia de Souza.....204*

## CAPÍTULO XV

ASPECTOS PRINCIPAIS SOBRE O USO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA AUXILIAR NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO

*Bruna Ricci Bicudo, Lígia Belieiro Malvezzi e Edilaine Regina Pereira.....214*

## CAPÍTULO XVI

AVALIAÇÃO DOS PROBLEMAS OPERACIONAIS PRESENTES EM ALGUMAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO CEARÁ

*Thiago de Norões Albuquerque, Tícia Cavalcante de Souza e Wladya Maria Mendes de Oliveira.....225*

## CAPÍTULO XVII

COMPARATIVO DE BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR GASOLINA

*Diego Moreira da Silva, Marcela Penha Pereira Guimarães, Raphael Moreira Alves e Francisco Roberto Silva de Abreu.....239*

## CAPÍTULO XVIII

DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO E SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA EM TAQUARUÇU DO SUL - RS

*Gabriel D'Avila Fernandes, José Luiz Silvério da Silva, Willian Fernando de Borba, Lueni Gonçalves Terra, Carlos Alberto Löbler e Edivane Patrícia Ganzer.....251*

## CAPÍTULO XIX

MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO À SELEÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE CENTRAIS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: APLICAÇÃO AO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO - SP

*Hermes Dias Brito, Fábio Augusto Gomes Vieira Reis, Claudia Vanessa dos Santos Corrêa e Lucilia do Carmo Giordano.....263*

***Sobre o organizador.....286***

***Sobre os autores.....287***



# **CAPÍTULO I**

## **ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA SERRAS CRISTALINAS LITORÂNEAS NO MUNICÍPIO DE BLUMENAU/SC**

---

**Maurício Pozzobon  
Gustavo Ribas Curcio**

# ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA SERRAS CRISTALINAS LITORÂNEAS NO MUNICÍPIO DE BLUMENAU/SC

## **Maurício Pozzobon.**

Universidade Regional de Blumenau, Departamento de Ciências Naturais.  
Blumenau, Santa Catarina.

## **Gustavo Ribas Curcio.**

Centro Nacional de Pesquisas Florestais - Embrapa Florestas.  
Colombo, Paraná.

## **Claudinei Taborda da Silveira.**

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia.  
Curitiba, Paraná.

**RESUMO:** A análise da suscetibilidade a deslizamentos da área correspondente à unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas no município de Blumenau, foi conduzida através da aplicação da técnica pesos de evidência. Foram analisadas as relações espaciais entre um conjunto de potenciais fatores condicionantes (geológicos, geomorfológicos e de uso e cobertura do solo) e 89 deslizamentos ocorridos no evento de 2008 na área de estudo. Seis diferentes combinações de integração dos valores ponderados de cada fator foram elaboradas no intuito de identificar àquela que resulta no melhor ajuste em relação à independência espacial entre os temas e às eficiências de classificação e predição. O modelo que integra os pesos dos temas distância de lineamentos, orientação das vertentes, curvatura horizontal e declividade (modelo 4) foi o que apresentou os melhores indicadores de eficiência de classificação e de predição, entre àqueles que atenderam os requisitos de independência. A partir destes modelos, é possível reconhecer que as situações de alta a muito alta suscetibilidade podem variar entre 7,5% (modelo 1) a 25% (modelo 4) da área deste compartimento, na escala 1:25.000.

**PALAVRAS-CHAVE:** análise da suscetibilidade; probabilidade condicional; compartimentação geomorfológica.

## **1. INTRODUÇÃO**

A Lei Federal 12.608/2012 institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC) e dá outras providências. Conforme sintetizado por CPRM/IPT (2014), constitui objetivo central da PNPDC a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, de modo a evitar ou reduzir a ocorrência de desastres associados a processos naturais potencialmente perigosos, dentre os quais, os deslizamentos.

A Lei também determina a criação de um cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis a deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos.

A despeito da histórica recorrência de desastres associados a processos naturais (especialmente inundações graduais e bruscas), o evento pluviométrico extremo de novembro de 2008, figura como um novo paradigma no que se refere à gestão de riscos e desastres para o município de Blumenau e região. Esse evento revelou, de forma contundente, a existência de condições de elevada suscetibilidade natural, em virtude da manifestação generalizada de movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos, incorrendo em sérios prejuízos humanos, ambientais e materiais (Aumond & Sevegnani 2009; Frank & Sevegnani 2009).

Conforme previsto pela PNPDC, o mapeamento de suscetibilidade constitui ferramenta essencial à prevenção de desastres. As outras ferramentas municipais apontadas na Lei, para as quais o mapeamento de áreas suscetíveis constitui subsídio fundamental, são: plano de contingência de proteção e defesa civil; plano de implantação de obras e serviços; mecanismos de controle e fiscalização; e carta geotécnica de aptidão à urbanização. Em particular, a Lei especifica que os mecanismos de controle e fiscalização se destinam a evitar a edificação em áreas suscetíveis, o que pressupõe conhecer previamente a localização dessas áreas (CPRM/IPT 2014).

A análise de suscetibilidade permite a identificação da potencialidade de ocorrência do fenômeno, e pode ser conduzida por modelos empíricos (análise da distribuição dos movimentos de massa e de mapeamentos geológico-geotécnicos), ou através da aplicação de modelos matemáticos (determinísticos ou probabilísticos) (Montgomery & Dietrich 1994, Soares et al. 2002, Araújo 2004, Pereira et al. 2012, Macedo & Bressani 2013).

A abordagem probabilística permite delimitar unidades do meio conforme o grau de suscetibilidade, utilizando um modelo de evento e um conjunto de variáveis espaciais georreferenciadas (Soares et al. 2002). Assumindo a ideia de que os deslizamentos resultam da combinação de condições favoráveis, pode-se presumir a existência de relações funcionais entre a distribuição dos mesmos e dos respectivos fatores condicionantes, tornando possível calcular a probabilidade de sua ocorrência e gerar cartas com distribuição de valores, organizadas em classes de suscetibilidade.

No presente estudo foi empregada a técnica de modelagem espacial pesos de evidência (Bonham-Carter 1994), pautada nos princípios da regra de Bayes da probabilidade condicional, com o objetivo de identificar condicionantes ambientais regentes da distribuição espacial dos deslizamentos, propor e testar modelos de suscetibilidade para a área correspondente a unidade geomorfológica “Serras Cristalinas Litorâneas” no município de Blumenau/SC, na escala 1:25.000.

## **2. ÁREA DE ESTUDO**

A área do município de Blumenau/SC foi segregada segundo a abrangência das unidades geomorfológicas representadas em seu território, quais sejam,

“Serras do Baixo e Médio Itajaí-Açu” e “Serras Cristalinas Litorâneas”. Esta última compreende o recorte que é objeto do presente estudo, com área de 298,7 km<sup>2</sup> (Figura 1).

Essa unidade encerra formas resultantes de modelado de dissecação, em decorrência de processos erosivos vinculados às dinâmicas pluvial e fluvial, onde predominam formas de relevo do tipo colinoso, outeiro e montanhoso, e fases entre plano a montanhoso, com predominância de vales em “V” aberto, drenagem dendrítica, controle estruturo-escultural e dissecação fluvial média a baixa (IBGE 2002b).

Considerando a distribuição dos condicionantes de natureza litoestrutural, a área de estudo está inserida no contexto do domínio morfoestrutural do Cráton Luis Alves, onde predominam os gnaisses do Complexo Granulítico de Santa Catarina. Os depósitos aluvionares preenchem as planícies e os respectivos leitos fluviais da área de estudo, apresentando sedimentação detrítica predominantemente psamo-pelítica (IBGE, 2009; Basei et al. 2011; Iglesias et al. 2011).

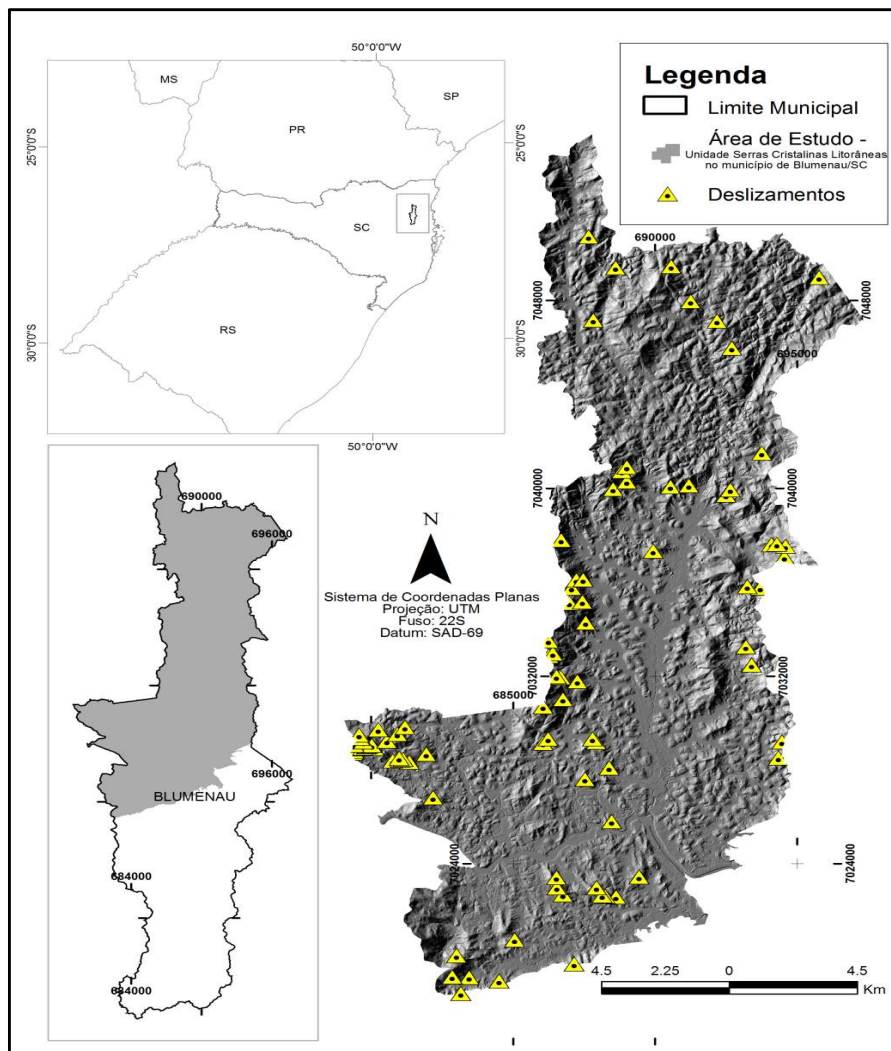


Figura 1 – Localização geral do município de Blumenau/SC, da área de estudo e a distribuição dos deslizamentos utilizados como pontos de treinamento. Relevo representado pelo modelo de elevação sombreado.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Obtenção e preparo dos dados

A delimitação da área de estudo, através da compartimentação geomorfológica, foi realizada considerando os limites entre as unidades do Complexo Granulítico de Santa Catarina (C.G.SC) e as unidades do Grupo Itajaí, resultante de dados de campo obtidos através de mapeamentos realizados pela Diretoria de Geologia, Análise e Riscos Naturais da prefeitura de Blumenau, na escala 1:25.000 (BLUMENAU, não publicado).

As etapas envolvidas para a análise de suscetibilidade através da aplicação da técnica pesos de evidência podem ser sintetizadas da seguinte maneira: i) preparação dos mapas temáticos das evidências potencialmente úteis para a predição dos locais favoráveis a ocorrência de deslizamentos com dinâmica translacional; ii) seleção e definição dos pontos de treinamento obtidos através do inventário das cicatrizes de deslizamentos; iii) determinação da probabilidade a priori; iv) determinação dos ponderadores bayesianos (W+ e W-) de cada tema/evidência, tendo em vista as relações de frequências observadas entre a evidência e a cicatriz do deslizamento, fase esta também denominada como estimativa de favorabilidade; v) reclassificação binária, maximizando a associação espacial mediante a seleção das classes favoráveis através do cálculo do contraste (C) e do valor de confiança (Studentized Contrast – S(C)); vi) integração dos mapas binários e determinação da probabilidade a posteriori; vii) aplicação de testes estatísticos para avaliar a condição de independência dos planos de informação entre si, e identificação do melhor esquema de combinação entre os temas selecionados; viii) realização dos testes de validação dos modelos preditivos gerados, através da análise de eficiência de classificação; ix) seleção e definição do melhor modelo e elaboração da carta de suscetibilidade.

Foram utilizados sete temas de evidências conforme a disponibilidade dos dados que pudessem ser aplicados na escala de referência adotada. Os temas selecionados representam potenciais indicadores de favorabilidade para a composição de modelos de suscetibilidade a deslizamentos, quais sejam, unidades geológicas, faixas de distância de lineamentos morfoestruturais, de orientação de vertentes, curvaturas horizontal e vertical, declividade e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). A relação dos temas de evidências utilizados para a análise de favorabilidade e as respectivas fontes de dados e escalas de referência, encontra-se disposta no Quadro 1.

Quadro 1 – Relação dos temas de evidências utilizados para análise de favorabilidade e composição de modelos de suscetibilidade a deslizamentos da área de estudo.

Nº	Tema de Evidência	Fonte	Escala de Mapeamento	Resolução Espacial
1	Unidades geológicas	A partir da compilação de: Iglesias et al. (2011)	1:250.000	-----

		Perdoncini et al. (não publicado)	1:25.000	-----
2	Distância de lineamentos morfoestruturais	Interpretação do Modelo Digital do Terreno (MDT)	1:25.000	5 m
3	Orientação de vertente	Extraído a partir do MDT	1:10.000	5 m
4	Curvatura horizontal	Extraído a partir do MDT	1:10.000	5 m
5	Curvatura vertical	Extraído a partir do MDT	1:10.000	5 m
6	Declividade	Extraído a partir do MDT	1:10.000	5 m
7	Índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI	Imagens TM Landsat 5@ (2006)	-----	30 m com reclassificação para 5 m

### 3.2. Análise dos dados

No presente trabalho foi utilizada a técnica de modelagem espacial pesos de evidência (*WofE - Weights of Evidence*) (Bonham-Carter 1994).

A definição do tamanho da unidade de área para a análise de favorabilidade obedeceu a resolução espacial derivada da base planialtimétrica utilizada, ou seja, 0,000025 km<sup>2</sup> (25 m<sup>2</sup>) e, como função da abordagem adotada de representação das zonas de depleção através do ponto centróide (89 pontos de treinamento) e do tamanho da área de estudo (11.947.687 unidades), o valor obtido para a probabilidade *a priori* foi de 0,000007.

Os procedimentos de cálculo dos ponderadores ( $W^+$  e  $W^-$ ) foram aplicados, aos dados geológicos (unidades geológicas e distância de lineamentos negativos), geomorfológicos (orientação de vertentes, curvatura horizontal e vertical e declividade) e de cobertura do solo (NDVI). O tema distância de lineamentos foi analisado através do método cumulativo ascendente, enquanto que os demais temas foram através do método categórico.

Com vistas à simplificação da análise, a área correspondente aos terraços e planícies elaboradas pelos depósitos aluvionares inconsolidados oriundos da deposição fluvial, não foi tratada isoladamente e, portanto, incluída no somatório da área dos dois compartimentos delimitados. Ainda, em razão da natureza qualitativa discreta dos dados relativos às unidades geológicas, os mesmos foram considerados apenas na etapa da análise de favorabilidade, não sendo utilizados para a composição dos esquemas de integração dos pesos.

A partir da análise de favorabilidade, foram gerados seis modelos, que compreendem diferentes combinações entre os temas de evidência, com vistas à determinação da probabilidade *a posteriori*, e identificação do resultado que melhor atende aos requisitos de independência dos dados e com o melhor ajuste quanto à eficiência de classificação e de predição.

A independência condicional entre os temas de evidência de cada

compartimento foi avaliada através do emprego de dois testes de análise global, a saber, o teste da Razão de Independência Condicional (CIR – *Conditional Independence Ratio*) (Bonham-Carter 1994) e o teste de Agterberg & Cheng (2002) (ACCIT – *Agterberg & Cheng Conditional Independence Test*). O teste da hipótese de independência foi conduzido adotando-se um intervalo de confiança de 98% de probabilidade ( $z = 2,33$ ). Assim, o maior valor do indicador “ACCIT” foi utilizado como critério de escolha do modelo que melhor atende aos requisitos de independência.

A avaliação da qualidade de ajuste dos modelos com relação à eficiência de classificação, considerando os pontos de treinamento, e à eficiência de predição, considerando toda a área das zonas de depleção, foi conduzida através da análise da curva da taxa de sucesso (SRC – *Success Rate Curve*), utilizando como referência o valor da área sob a curva (AUC – *Area Under Curve*) para aferir o ajuste do modelo. Os valores de AUC foram calculados conforme sugerido por Sawatzky et al. (2007).

Os modelos que atenderam os requisitos de independência condicional e apresentaram razoáveis indicadores de eficiência de classificação e predição, foram reclassificados, resultando em quatro classes que representam diferentes níveis de suscetibilidade a deslizamentos, quais sejam, baixa, média, alta e muito alta suscetibilidade. O limite estabelecido para a definição da classe média suscetibilidade foi o valor da probabilidade *a priori*, e para o das demais classes, através de avaliação visual, foram considerados os pontos significativos de inflexão na curva de distribuição dos valores de probabilidade *a posteriori* (CAPP Curve) em relação à proporção da área acumulada, conforme sugerido por Sawatzky et al. (2007).

O aplicativo *Arc-Spatial Data Modeller* (ArcSDM), versão 4 (Sawatzky et al. 2007), que opera como extensão livre na plataforma ArcGIS 9.2 (ESRI®), foi utilizado para realizar todas as etapas do processo de análise espacial.

Maior detalhamento dos procedimentos metodológicos adotados nas diferentes etapas envolvidas na análise reportada no presente trabalho pode ser acessado em Pozzobon (2013).

#### 4. RESULTADOS

Entre as cinco unidades geológicas representadas, somente os Gnaisses Granulíticos Luis Alves atenderam os requisitos de favorabilidade ( $C/s(C) = 4,27$ ), onde se manifestaram 92% dos deslizamentos utilizados como referência (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das unidades geológicas da área de estudo.

CLASSES	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	%	PONTOS DE TREINAMENTO		W <sup>+</sup>	s(W <sup>+</sup> )	W <sup>-</sup>	s(W <sup>-</sup> )	C	s(C)	C/s(C)
			%								
Complexo Granulítico: Gnaisses Luis Alves	204,88	68,59	82	92,13	0,30	0,11	-1,38	0,38	1,68	0,39	4,27
Complexo Granulítico: Ortognaisse Pomerode	41,20	13,79	6	6,74	-0,72	0,41	0,08	0,11	-0,79	0,42	-1,88
Complexo Granulítico: Unidade Máfica-Ultramáfica Barra Velha	3,34	1,12	1	1,12	0,01	1,00	0,00	0,11	0,01	1,01	0,01
Aluvião	46,18	15,46	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rio Itajaí-açu	3,07	1,03	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Diques básicos	0,05	0,02	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Onde: W<sup>+</sup> = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo); s(W<sup>+</sup>) = desvio padrão do peso positivo; W<sup>-</sup> = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo); s(W<sup>-</sup>) = desvio padrão do peso negativo; C = contraste; s(C) = desvio padrão do contraste e; C/s(C) = valor de confiança.

Os resultados da análise de favorabilidade a deslizamentos das faixas de distância de lineamentos morfoestruturais indicam que, na área de estudo, a influência exercida por lineamentos morfoestruturais manifesta-se até a distância de 200 m, onde foram registrados 57% dos deslizamentos (Tabela 2).

Tabela 2 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das faixas de distância de lineamentos morfoestruturais na área de estudo.

CLASSES	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	%	PONTOS DE TREINAMENTO		W <sup>+</sup>	s(W <sup>+</sup> )	W <sup>-</sup>	s(W <sup>-</sup> )	C	s(C)	C/s(C)
			%								
0 a 50 m	35,31	11,82	10	11,24	0,05	0,32	0,01	0,11	-0,06	0,34	-0,17
50 a 100 m	70,41	23,57	21	23,60	0,00	0,22	0,00	0,12	0,00	0,25	0,01
100 a 150 m	104,13	34,86	37	41,57	0,18	0,16	0,11	0,14	0,28	0,22	1,32
150 a 200 m	135,81	45,47	51	57,30	0,23	0,14	-0,2	0,16	0,48	0,21	2,22



200	a	164,5	55,0	56	62,9	0,1	0,1	4	-	0,17	0,33	0,22	1,48
250 m		0	7		2	3	3	0,1	0,1	0,17	0,33	0,22	1,48
250	a	189,5	63,4	66	74,1	0,1	0,1	-	-	0,21	0,50	0,24	2,07
300 m		6	6		6	6	2	0,3	0,3	0,21	0,50	0,24	2,07
300	a	210,8	70,5	72	80,9	0,1	0,1	-	-	0,24	0,57	0,27	2,11
350 m		5	9		0	4	2	0,4	0,4	0,24	0,57	0,27	2,11
350	a	228,8	76,6	77	86,5	0,1	0,1	-	-	0,29	0,67	0,31	2,16
400 m		7	2		2	2	1	0,5	0,5	0,29	0,67	0,31	2,16
400	a	243,9	81,6	80	89,8	0,1	0,1	-	-	0,33	0,69	0,35	1,96
450 m		6	7		9	0	1	0,5	0,5	0,33	0,69	0,35	1,96
450	a	295,8	99,0	89	100,	0,0	0,1	-	-	10,0	4,44	10,0	0,44
900 m		6	5		00	1	1	4,4	4,4	10,0	4,44	10,0	0,44
900	a	298,6	99,9	89	100,	0,0	0,1	-	-	10,0	-0,77	10,0	-0,08
1350 m		8	9		00	0	1	0,7	0,7	10,0	-0,77	10,0	-0,08
> 1350 m		298,6	100,	89	100,	0,0	0,1	11,	14,1	-	14,1	14,1	-0,83
		9	00		00	0	1	81	4	11,8	1	4	-0,83

Onde:  $W^+$  = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo);  $s(W^+)$  = desvio padrão do peso positivo;  $W^-$  = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo);  $s(W^-)$  = desvio padrão do peso negativo;  $C$  = contraste;  $s(C)$  = desvio padrão do contraste e;  $C/s(C)$  = valor de confiança.

Com relação às classes de orientação das encostas, depreende-se que as vertentes voltadas para o quadrante Sul apresentam-se como favoráveis na área de estudo ( $C/s(C) = 3,46$ , com 11% dos casos de deslizamento) (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das classes de orientação das encostas da área de estudo.

CLASSE S	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	%	PONTOS DE TREINAMENTO	%	$W^+$	$s(W^+)$	$W^-$	$s(W^-)$	$C$	$s(C)$	$C/s(C)$
Plano	19,08	6,39	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Norte	67,59	22,63	15	16,85	-0,29	0,26	0,07	0,12	0,37	0,28	-1,29
Leste	77,56	25,96	26	29,22	0,12	0,20	-0,04	0,13	0,16	0,23	0,70
Sul	64,54	21,61	33	37,08	0,54	0,17	-0,22	0,13	0,76	0,22	3,46
Oeste	69,94	23,41	15	16,85	-0,33	0,26	0,08	0,12	0,41	0,28	-1,45

Onde:  $W^+$  = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo);  $s(W^+)$  = desvio padrão

do peso positivo;  $W$  = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo);  $s(W)$  = desvio padrão do peso negativo;  $C$  = contraste;  $s(C)$  = desvio padrão do contraste e;  $C/s(C)$  = valor de confiança.

As encostas lateralmente convergentes ( $C/s(C) = 1,17$ , com 39% dos casos) e longitudinalmente convexas ( $C/s(C) = 2,22$ , com 54% dos casos), respectivamente para os dados de curvatura horizontal (Tabela 4) e vertical (Tabela 5), foram as que apresentaram maior favorabilidade.

Tabela 4 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das classes de curvatura horizontal das encostas da área de estudo.

CLASSES	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	%	PONTOS DE TREINAMENTO		$W^+$	$s(W^+)$	$W^-$	$s(W^-)$	$C$	$s(C)$	$C/s(C)$
			O	%							
Convergente	99,94	33,46	35	39,33	0,16	0,17	-	0,14	0,25	0,22	1,17
Retilínea	60,05	20,10	11	12,36	-	0,30	0,09	0,11	-	0,32	-1,80
Divergente	138,71	46,44	43	48,31	0,04	0,15	-	0,15	0,08	0,21	0,35

Onde:  $W^+$  = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo);  $s(W^+)$  = desvio padrão do peso positivo;  $W^-$  = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo);  $s(W^-)$  = desvio padrão do peso negativo;  $C$  = contraste;  $s(C)$  = desvio padrão do contraste e;  $C/s(C)$  = valor de confiança.

Tabela 5 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das classes de curvatura vertical das encostas da área de estudo.

CLASSES	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	%	PONTOS DE TREINAMENTO		$W^+$	$s(W^+)$	$W^-$	$s(W^-)$	$C$	$s(C)$	$C/s(C)$
			O	%							
Convexa	126,01	42,19	48	53,93	0,25	0,14	-	0,16	0,47	0,21	2,22
Retilínea	51,43	17,22	4	4,49	-	0,50	0,14	0,11	-	0,51	-2,90
Côncava	121,25	40,59	37	41,57	0,02	0,16	-	0,14	0,04	0,22	0,19

Onde:  $W^+$  = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo);  $s(W^+)$  = desvio padrão do peso positivo;  $W^-$  = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo);  $s(W^-)$  = desvio padrão do peso negativo;  $C$  = contraste;  $s(C)$  = desvio padrão do contraste e;  $C/s(C)$  = valor de confiança.

Na área de estudo, foram registrados deslizamentos entre 15 e 75° de inclinação. Contudo, a faixa que varia entre 20 e 75° (com 91% dos casos) foi que atendeu os pressupostos de favorabilidade (Tabela 6).

Tabela 6 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das classes de declividade das encostas de cada compartimento geomorfológico delimitado no município de Blumenau (SC), Brasil.

CLASSES	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	%	PONTOS DE TREINAMENTO		W <sup>+</sup>	s(W <sup>+</sup> )	W <sup>-</sup>	s(W <sup>-</sup> )	C	s(C)	C/s(C)	
				%								
0 a 5°	70,05	23,45	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5 a 10°	40,68	13,62	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
10 a 15°	46,21	15,47	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
15 a 20°	49,23	16,48	8	8,99	-	0,35	0,09	0,11	-	0,69	0,37	-1,87
20 a 25°	42,27	14,15	22	24,72	0,56	0,21	-	0,13	0,12	0,69	0,25	2,80
25 a 30°	27,73	9,28	20	22,47	0,88	0,22	-	0,16	0,12	1,04	0,25	4,10
30 a 35°	13,92	4,66	20	22,47	1,57	0,22	-	0,21	0,12	1,78	0,25	7,01
35 a 40°	5,69	1,90	13	14,61	2,04	0,28	-	0,14	0,11	2,18	0,30	7,25
40 a 45°	2,00	0,67	3	3,37	1,61	0,58	-	0,03	0,11	1,64	0,59	2,80
45 a 75°	0,90	0,30	3	3,37	2,41	0,58	-	0,03	0,11	2,44	0,59	4,16
≥75°	0,01	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Onde: W<sup>+</sup> = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo); s(W<sup>+</sup>) = desvio padrão do peso positivo; W<sup>-</sup> = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo); s(W<sup>-</sup>) = desvio padrão do peso negativo; C = contraste; s(C) = desvio padrão do contraste e; C/s(C) = valor de confiança.

Tabela 7 – Resultado da análise de favorabilidade a deslizamentos translacionais das classes do NDVI de cada compartimento geomorfológico delimitado no município de Blumenau (SC), Brasil.

CLASSES	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	%	PONTOS DE TREINAMENTO		W <sup>+</sup>	s(W <sup>+</sup> )	W <sup>-</sup>	s(W <sup>-</sup> )	C	s(C)	C/s(C)		
				%									
-0,60 a 0,10	23,87	7,97	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
0,10 a 0,15	9,14	3,06	1	1,12	-	1,00	0,02	0,11	-	1,02	1,01	-1,02	
0,15 a 0,20	10,00	3,35	1	1,12	-	1,09	0,02	0,11	-	1,11	1,01	-1,11	
0,20 a 0,25	10,68	3,58	1	1,12	-	1,16	0,03	0,11	-	1,18	1,01	-1,18	
0,25 a 0,30	11,99	4,02	2	2,25	-	0,71	0,02	0,11	-	0,60	0,72	-0,84	
0,30 a 0,35	14,18	4,75	3	3,37	-	0,34	0,58	0,01	0,11	-	0,36	0,59	-0,61

0,35 a 0,40	20,30	6,80	1	1,12	- 1,80	1,00	0,06	0,11	- 1,86	1,0 1	-1,85
0,40 a 0,45	25,27	8,46	6	6,74	- 0,23	0,41	0,02	0,11	- 0,25	0,4 2	-0,58
0,45 a 0,50	39,43	13,20	9	10,11	- 0,27	0,33	0,04	0,11	- 0,30	0,3 5	-0,86
0,50 a 0,55	48,91	16,37	19	21,35	0,27	0,23	- 0,06	0,12	0,33	0,2 6	1,26
0,55 a 0,60	59,72	19,99	28	31,46	0,45	0,19	- 0,15	0,13	0,61	0,2 3	2,66
0,60 a 0,65	24,11	8,07	18	20,22	0,92	0,24	- 0,14	0,12	1,06	0,2 6	4,02
0,65 a 0,70	1,09	0,36	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0 0	0,00
0,70 a 0,75	0,01	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0 0	0,00

Onde:  $W^+$  = razão de suficiência ajustada ao logaritmo natural (peso positivo);  $s(W^+)$  = desvio padrão do peso positivo;  $W^-$  = razão de necessidade ajustada ao logaritmo natural (peso negativo);  $s(W^-)$  = desvio padrão do peso negativo;  $C$  = contraste;  $s(C)$  = desvio padrão do contraste e;  $C/s(C)$  = valor de confiança.

Para o tema NDVI, a faixa de valores entre 0,50 e 0,65 foi a que atendeu os requisitos de favorabilidade, onde foram registrados 73% dos casos de deslizamentos utilizados como referência (Tabela 7).

Dos modelos gerados, quatro atenderam aos requisitos de independência (Tabela 8), conquanto, entre eles, o modelo 1, que integra os dados dos temas curvatura horizontal e declividade foi o que apresentou o maior valor para o indicador ACCIT (14,61).

O modelo 4, que integra os dados dos temas distância de lineamentos morfoestruturais, orientação de vertentes, curvatura horizontal e declividade foi o que apresentou o menor valor para o indicador ACCIT (5,21) (Tabela 8).

Tabela 8 – Relação dos esquemas de integração dos diferentes temas de evidência e resultados da análise global de independência espacial, dos modelos de suscetibilidade da unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas no município de Blumenau (SC), Brasil.

Nº	MODELOS	T	(T-n)	s(T)	ACCIT	CIR
1	4 + 6	94.80	5.80	8.76	14.61	0.94
2	2 + 4 + 6	94.40	5.40	8.40	14.17	0.94
3	5 + 6	100.20	11.20	9.51	10.96	0.89
4	2 + 3 + 4 + 6	96.40	7.40	5.41	5.21	0.92
5	2 + 4 + 6 + 7	114.00	25.00	6.14	-10.69	0.78
6	3 + 4 + 6 + 7	118.60	29.60	4.31	-19.56	0.75

2 – Distância de Lineamentos; 3 – Orientação de vertente; 4 – Curvatura horizontal; 5 – Curvatura vertical; 6 – Declividade e; 7 – NDVI; T – Somatório dos valores de probabilidade a posteriori; n – Número de pontos de treinamento; s(T) – Desvio padrão de T; ACCIT – Valor do teste Aterberg & Cheng de independência condicional; CIR – Razão de independência condicional.

Com relação à validação dos modelos, os resultados obtidos através das análises de eficiência de classificação e de predição demonstram respostas diferenciadas entre os modelos (Tabela 9).

Tabela 9 - Indicadores de eficiência de classificação e predição dos modelos de suscetibilidade a deslizamentos que atenderam os requisitos de independência espacial da unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas no município de Blumenau (SC), Brasil.

MODELOS	TEMAS COMBINADOS	AUC <sup>1</sup>	% <sup>1</sup>	AUC <sup>2</sup>	% <sup>2</sup>
1	4 + 6	0.86	91	0.80	83
2	2 + 4 + 6	0.86	90	0.81	85
3	5 + 6	0.86	89	0.80	82
4	2 + 3 + 4 + 6	0.87	92	0.83	85

2 - Distância de Lineamentos; 3 - Orientação de vertente; 4 - Curvatura horizontal; 5 - Curvatura vertical; 6 - Declividade; AUC<sup>1</sup> - Valor da área sob a curva considerando os pontos de treinamento; %<sup>1</sup> - Frequência relativa dos pontos de treinamento classificados corretamente; AUC<sup>2</sup> - Valor da área sob a curva considerando a área total das zonas de depleção; %<sup>2</sup> - Proporção da área total das zonas de depleção classificada corretamente.

Dentre eles, o modelo 4 foi o que apresentou o melhor ajuste. Embora tenha apresentado o menor valor positivo de ACCIT, este modelo apresentou uma eficiência de classificação que resulta em um valor da área sob a curva (AUC<sup>1</sup>) da ordem de 0,87, combinado com uma eficiência de predição (AUC<sup>2</sup>) de 0,83. Os demais modelos apresentaram valores próximos, tanto com relação à eficiência de classificação (0,86), quanto à de predição (entre 0,80 e 0,81). O modelo 4 foi também o que apresentou a maior proporção de pontos de treinamento (92%) e da área das zonas de depleção (85%) classificados corretamente, atestando seu razoável ajuste final.

Esse modelo resulta da combinação de pesos calculados de fatores predisponentes frequentemente associados à ocorrência de cicatrizes de deslizamento em literatura técnico-científica (CPRM/IPT 2014), quais sejam, distância de lineamentos morfoestruturais, orientação das encostas, curvatura horizontal e declividade. A combinação entre esses fatores pode refletir a ação combinada de aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológico-pedológico, influenciando a distribuição das cicatrizes de deslizamento (Stabile et al. 2013; CPRM/IPT 2014).

A importância da disposição das feições do relevo associadas aos lineamentos morfoestruturais (correlatos a fraturas, juntas, zonas de falhas e outras descontinuidades) traduz-se na influência destes exercida sobre o modelamento (Soares & Fiori 1975). A favorabilidade observada (dentro da faixa de distância de até 200 m) pode estar refletindo, de maneira geral, a influência de estruturas geológicas, condicionando o surgimento de descontinuidades mecânicas e hidráulicas, conferindo maior predisposição à instabilizações (Frasca & Sartori 1998, Magalhães & Cella 1998). A orientação das vertentes mantém relação direta com a exposição à insolação, influenciando nas taxas de evapotranspiração e no teor de água do solo (Soares et al. 2002, Geroy et al. 2011). Neste sentido, é possível presumir que as encostas situadas nas faces de menor insolação

apresentem maiores teores de umidade antecedente do solo, influenciando na quantidade de água que poderá infiltrar e ser estocada até o solo atingir a condição limite de estabilidade (Baum & Godt 2010, Hawke & McConchie 2011). A favorabilidade de vertentes voltadas para o quadrante sul pode refletir os efeitos decorrentes de menor exposição à insolação sobre a estabilidade das encostas na área de estudo. A concentração de fluxo hídrico orientada pela forma lateralmente côncava predispõe a formação de zonas com diferentes intensidades de saturação hídrica, muitas vezes traduzindo-se nos locais de maior sujeição à redução da coesão aparente ou às condições de poro-pressões positivas críticas, especialmente nos eventos de intensa precipitação pluviométrica (Montgomery & Dietrich 1994, Fernandes et al. 2004, Vieira & Fernandes 2004, Fiori & Carmignani 2009). A influência da declividade está vinculada com a magnitude das forças gravitacionais atuantes, e que se expressa através do peso por unidade de área dos materiais que constituem as vertentes (Holtz & Kovacz 1981).

Para definição das classes de suscetibilidade (muito alta, média e baixa) foram elaboradas e interpretadas as curvas de distribuição dos valores de probabilidade *a posteriori* (CAPP Curve) em relação à proporção da área acumulada, conforme sugerido por Sawatzky et al. (2007). Trata-se de uma classificação relativa aplicada somente dentro da área de estudo, segundo sua suscetibilidade (probabilidade *a posteriori*). Por princípio, busca-se incluir o maior número de deslizamentos nas classes mais altas, em uma área mínima (Macedo & Bressani 2013).

Assim, foi possível identificar os limites para o estabelecimento das classes de suscetibilidade de cada um dos modelos selecionados e definidas as quatro classes, sendo elas, baixa, média, alta e muito alta. A distribuição espacial da suscetibilidade a deslizamentos resultante da combinação dos temas distância de lineamentos, orientação de vertente, curvatura horizontal e declividade (modelo 4) encontra-se representada na Figura 2.

Através da metodologia adotada e dos modelos selecionados, foi possível identificar que a probabilidade *a posteriori* variou entre 14 a 26 vezes o valor da probabilidade *a priori*. Entre os quatro modelos selecionados, as situações de alta e muito alta suscetibilidade variaram entre 7,5% (Modelo 1) a 25% (Modelo 4) da área da área de abrangência da unidade geomorfológica “Serras Cristalinas Litorâneas” no município de Blumenau, na escala 1:25.000.

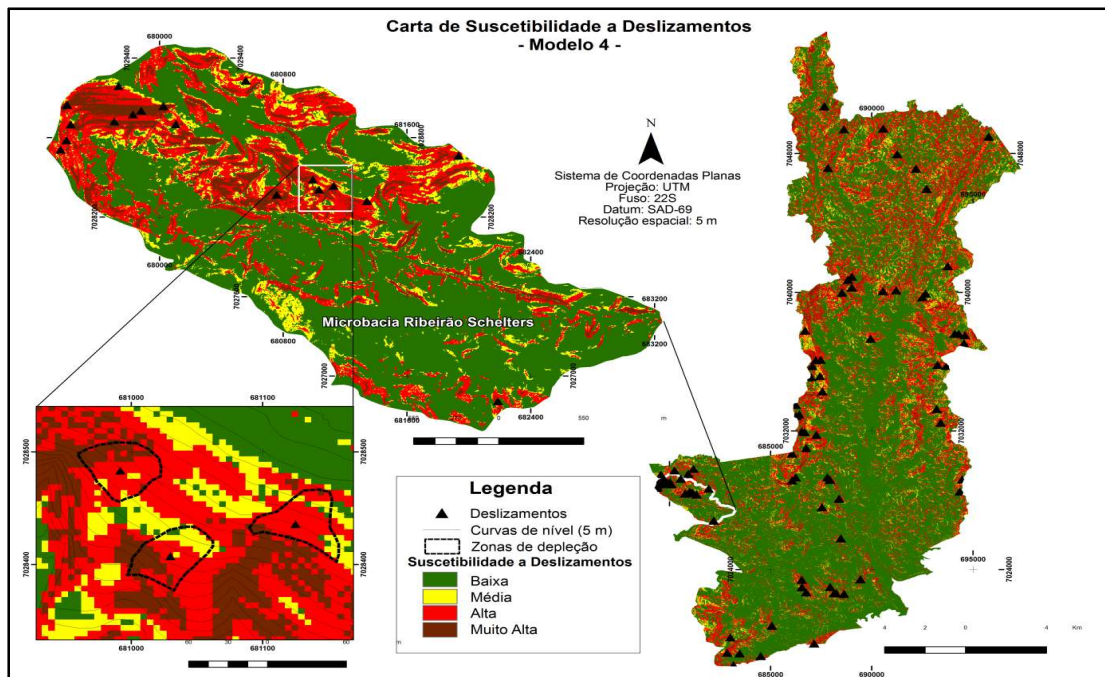


Figura 2 – Carta de suscetibilidade a deslizamentos (modelo 4) da unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas no município de Blumenau/SC. Articulação de recortes da área para ilustrar o resultado através de detalhamento progressivo da escala de representação.

## 5. CONCLUSÕES

Na área de abrangência da unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas, no município de Blumenau/SC, quatro modelos de suscetibilidade atenderam os pressupostos de independência espacial, concorrendo com sutis diferenças quanto à eficiência de classificação e de predição. Contudo, o modelo que integra os valores das classes dos fatores distância de lineamentos morfoestruturais, orientação das vertentes, curvatura horizontal e declividade, compreende àquele que apresentou o melhor ajuste final.

A partir dos modelos selecionados, é possível identificar que as situações de alta e muito alta suscetibilidade variam entre 7,5% a 25% da área de estudo, detidamente às zonas potenciais de geração de deslizamentos.

A classificação relativa dos modelos gerados (muito alta, alta, média e baixa), aplicável somente dentro da área de estudo, indica os locais onde a propensão é maior ou menor para a geração de deslizamentos, não indicando a trajetória e o raio de alcance dos materiais mobilizáveis.

Aspectos positivos e negativos podem ser relacionados à aplicação da técnica pesos de evidência para a previsão de áreas suscetíveis a deslizamentos. Entre os aspectos positivos, convém destacar que: i) trata-se de um método que permite a determinação objetiva das relações espaciais entre os fatores condicionantes e os eventos conhecidos; ii) evita a subjetividade na escolha dos fatores condicionantes; iii) os pesos de múltiplos fatores podem ser combinados; iv) possibilita evitar a combinação de dados de fatores que apresentam alta

correlação espacial; v) por se tratar de um método baseado nos dados, os resultados podem ser aprimorados a partir de novas observações e da aquisição de novos dados, desde que disponíveis e que apresentem significância na escala de referência. No tocante aos aspectos negativos da utilização da técnica pesos de evidência, destaca-se que: i) os pesos das classes dos fatores podem ser subestimados ou superestimados se a área de abrangência delas for muito pequena e se os deslizamentos não apresentarem uma distribuição uniforme na área de estudo; iii) exige a independência condicional entre os dados dos diferentes fatores utilizados na composição dos modelos, limitando o número possível de combinações; iv) os pesos obtidos para diferentes áreas não podem ser comparados entre si e; v) o método somente é aplicável em áreas onde os eventos são conhecidos.

A despeito das limitações inerentes à aplicação da técnica pesos de evidência, os resultados obtidos fornecem medidas adequadas e válidas (segundo o modelo de evento adotado e as condições modeladas) para a previsão de áreas suscetíveis a deslizamentos no domínio da unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas no município de Blumenau/SC na escala de 1:25.000, uma vez que integram dados compatíveis com a escala de referência adotada e atestam os indicadores de validação. Conforme proposto em Macedo & Bressani (2013), considera-se ainda que o zoneamento apresentado atende os requisitos para enquadramento em nível básico e, em função da escala, é representativo de trabalhos efetuados em caráter semirregional ou de semidetalhe.

Assim, a identificação das áreas com maior potencial para a manifestação de deslizamentos, segundo as condições modeladas, representa um instrumento que pode ser útil como subsídio para a implantação de processos complementares através de detalhamento progressivo, sobretudo quanto à elaboração das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização e às cartas de risco, orientando as medidas de planejamento e reordenamento territorial e a gestão de riscos na área de estudo.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a Prefeitura de Blumenau, Universidade Federal do Paraná (Programas de Pós Graduação em Engenharia Florestal e Geologia) e ao CNPq pelo suporte oferecido à realização das pesquisas. Manifestam ainda agradecimento especial aos senhores Dr. Alberto P. Fiori, Dr. Paulo C. Soares, Dr. Alexandre Uhlmann, Esp. Eduardo Zimmer, Esp. Henrique M. C. Carreirão, Dr.a Leila C. Perdoncini e Dr. Manoel R. D. Correia pelo auxílio concedido, essencial à realização do presente trabalho.



## REFERÊNCIAS

- AGTERBERG, F. P. & CHENG, Q. 2002. Conditional independence test for Weights-of-Evidence modelling. **Natural Resources Research**, v. 11(4):249 – 255.
- AHRENDT, A. 2005. Movimentos de massa gravitacionais - proposta de um sistema de previsão: aplicação na área urbana de Campos do Jordão (SP). **Tese (Doutorado)** – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos. São Paulo. 334 p.
- ARAÚJO, P. C. DE, 2004. Análise da suscetibilidade a escorregamentos: uma abordagem probabilística. **Tese (Doutorado)**. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, São Paulo. 2004. 172pp.
- AUGUSTO-FILHO, O.; VIRGILI, J. C. 1998. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE. p. 243-270.
- AUMOND, J. J.; SEVEGNANI, L. 2009. Descrição do desastre: os escorregamentos de encostas. In: Frank, B.; Sevegnani, L. (Eds.). **Desastre de 2008: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí. p. 78-91.
- BASEI, M. A. S.; DRUKAS, C. O.; NUTMAN, A. P.; WEMMER, K.; DUNYI, L.; SANTOS, P. R.; PASSARELLI, C. R.; CAMPOS NETO, M. C.; SIGA, O. Jr.; OSAKO, L. 2011. The Itajaí foreland basin: a tectono-sedimentary record of the Ediacaran period, Southern Brazil. **International Journal of Earth Sciences**, 100(2-3): 543-569.
- BAUM, R. L.; GODT, J. W. 2010. Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in USA. **Landslides**. 7: 259-272.
- BONHAM-CARTER, G.F. 1994. **Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS**. Ottawa: Pergamon. 398p.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2014. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações – Blumenau/Santa Catarina**. Brasília: CPRM/IPT. Escala 1:25.000.
- CRUDEN, D. M. & VARNES, D. J. 1996. Landslides types and processes. In: TURNER, A. K. & SCHUSTER, R. L. (Eds.). **Landslides: investigation and mitigation**. Special Report 247/Transportation Research Board. Washington: National Academy Press.
- CRUDEN, D. M. & VARNES, D. J. 1996. Landslides types and processes. In: TURNER, A. K. & SCHUSTER, R. L. (Eds.). **Landslides: investigation and mitigation**. Special

Report 247/Transportation Research Board. Washington: National Academy Press.

DAHAL, R. K.; HASEGAWA, S.; NONOMURA, A.; YAMANAKA, M.; MASUDA, T.; NISHINO, K. 2008. GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping. **Environ. Geol.**, 54:311–324

DIKAU, R. 2004. Mass Movement. In: Goudie, A. (Org.). **Encyclopedia of Geomorphology**. Londres: Routledge. p. 644-652.

FERNANDES, N. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., VIEIRA, B. C., MONTGOMERY, D. R., GREENBERG, H. 2004. Topographic controls of landslides in rio de janeiro: field evidence and modelling. **Catena**, 55: 163-181. 2004.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L., **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. Curitiba: UFPR. 2009. 602 pp.

FRANK, B.; SEVEGNANI, L. 2009. **Desastre de 2008: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí. 2009.

FRASCÁ, M. H. B. de O.; SARTORI, P. L. P. 1998. Minerais e rochas. In: OLIVEIRA, A. M. dos S. e BRITO, S. N. A. de. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE. p.15-38. 1998.

GEROY, I. J.; GRIBB, M. M.; MARSHALL, H. P.; CHANDLER, D. G.; BENNER, S. G.; MACNAMARA, J. P. 2011. Aspect influences on soil water retention and storage. **Hydrol. Process**. 25: 3836–3842. 2011.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. 1984. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher. 194p.

HAWKE, R.; McCONCHIE, J. 2011. In situ measurement of soil moisture and pore water pressures in an “incipient” landslide: Lake Tutira, New Zeland. **Journal of Environmental Management**. 92: 266-274.

HOLTZ, R. D., KOVACS, W. D. 1981. **An introduction to geotechnical engineering**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 733p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2012**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em:<  
<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 28 de maio de 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. – Divisão de Geociências do Sul 2002a. Projeto Gerenciamento Costeiro. 3ª fase. **Relatório Técnico Geologia**. Florianópolis. Disponível em: [www.morrodobau.ufsc.br/files/2011/03/Solos\\_final.pdf](http://www.morrodobau.ufsc.br/files/2011/03/Solos_final.pdf). Acessado em 24/10/2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. – Divisão de Geociências do Sul. 2002b. Projeto Gerenciamento Costeiro. 3ª fase. **Relatório Técnico Geomorfologia**. Florianópolis. Disponível em: [www.morrodobau.ufsc.br/files/2011/03/Geomorfologia.pdf](http://www.morrodobau.ufsc.br/files/2011/03/Geomorfologia.pdf). Acessado em 24/10/2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE 2004a. Folha Joinville – SG.22-Z-B. Escala: 1:250.000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE 2004b. Folha Florianópolis – SG.22-Z-D. Escala: 1:250.000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. – Unidade Estadual do IBGE em Santa Catarina. 2003. Projeto Gerenciamento Costeiro. 3ª fase. **Relatório Técnico Solos**. Florianópolis. Disponível em: [www.morrodobau.ufsc.br/files/2011/03/Solos\\_final.pdf](http://www.morrodobau.ufsc.br/files/2011/03/Solos_final.pdf). Acessado em 24/10/2012.

IGLESIAS, C. M. da F.; ZERFASS, H.; da SILVA, M. A. S.; KLEIN, C. 2011. **Programa Geologia do Brasil: carta geológica - escala 1:250.000 (Folha SG-22-Z-B Joinville), Estado de Santa Catarina**. Brasília: DNPM/CPRM. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br>. Acesso em: 17 de setembro de 2012.

KÖEPPEN, W. **Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica. 1948. 466p.

MACEDO, E. S.; BRESSANI, L. A. (Org.). 2013. **Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo**. São Paulo: ABGE; ABMS. 88 p.

MAGALHÃES, F. S.; CELLA, P. R. C. 1998. Estrutura dos maciços rochosos. In: OLIVEIRA, A. M. dos S. e BRITO, S. N. A. de. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE. p.39-55. 1998.

MATSUSHI, Y.; HATTANJI, T.; MATSUKURA, Y. 2006. Mechanisms of shallow landslides on soil-mantled hillslopes with permeable and impermeable bedrocks in the Boso Peninsula, Japan. **Geomorphology**, 76: 92-108.

MONTGOMERY, D. R. & DIETRICH, W. E. 1994. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resource Research**, 30(4):1153-1171.

NEUHÄUSER, B; TERHORST, B. 2007. Landslide susceptibility assessment using “weights-of-evidence” applied to study area at the Jurassic escarpment (SW – Germany). **Geomorphology**, 86:12-24.

PERDONCINI, L. C.; LEHNEN, R.; BORGES, A.; XAVIER, F. F. **Não publicado**. Mapa geológico do município de Blumenau: versão preliminar – escala 1:25.000. Blumenau: Diretoria de Geologia, Análise e Riscos Naturais.

PEREIRA, S., ZÊZERE, J. L., BATEIRA, C. 2012. Technical note: assessing predictive capacity and conditional independence of landslide predisposing factors for shallow landslide susceptibility models. **Nat. Hazards Earth Sci.** 12: 979-988.

POLI, S.; STERLACCHINI, S. 2007. Landslide representation strategies in susceptibility studies using weights-of-evidence modeling technique. **Natural Resources Research**, 16(2): 121-134.

POTTER, R. O.; CARVALHO, A. P.; FLORES, C. A. & BOGNOLA, I. 2004. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. CD ROM; mapa color. (Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).

POZZOBON, M. 2013. Análise da suscetibilidade a deslizamentos no município de Blumenau/SC: uma abordagem probabilística através da aplicação da técnica pesos de evidência. Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR (**Tese de Doutorado**). 138p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU. PERDONCINI, L. C.; LEHNEN, R.; BORGES, A.; XAVIER, F. F. (Orgs.). Mapa geológico do município de Blumenau: versão preliminar – escala 1:25.000. Blumenau: Diretoria de Geologia, Análise e Riscos Naturais. **Não publicado**.

SAWATZKY, D. L.; RAINES, G. L.; BONHANM-CARTER, G. F.; LOONEY, C. G., 2007. **Spatial Data Modeller (SDM): ArcMAP 9.2 geoprocessing tools for spatial data modeling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural networks**. Disponível em: <http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=15341>. Acessado em 11/06/2009.

SEVEGNANI, L.; VIBRANS, A. C.; GASPER, A. L. de. 2013. Considerações finais sobre a Floresta Ombrófila Densa e Restinga. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L. de; LINGNER, D. V. (eds.). **Inventário florístico florestal de Santa Catarina: Floresta Ombrófila Densa**. Blumenau: Edifurb. v.4. p. 325-327.

SEVERO, D. A meteorologia do desastre. In: Frank, B.; Sevegnani, L. (Eds.). **Desastre de 2008: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí. p. 70-77.

SILVA DIAS, M. A. F. 2009. As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos. **Nota técnica**. São José dos Campos: INPE. 67p.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P., 1975. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas. **Notícia Geomorfológica**. 16(32): 71-104.

SOARES, P. C.; SOARES, A. P.; FIORI, A. P. 2002. Raciocínio probabilístico aplicado à suscetibilidade de escorregamentos: um estudo de caso em Campo Largo, Paraná, Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**. 51:59-76.

STABILE, R. A. FERREIRA, A. L.; CARVALHO, A. M. de; SIQUEIRA, A. G.; BITAR, O. Y. 2013. Análise de fatores condicionantes de instabilizações em encostas como subsídio para a modelagem estatística da suscetibilidade a deslizamentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 2013. 1 CD ROM.

SUMMERFIELD, M. A. 1991. *Global Geomorphology: an introduction to the study of landforms*. Edinburgh: Pearson Prentice Hall. 537 p.

VEDOVELLO, R.; MACEDO, E. S., 2007. Deslizamentos de encostas. In: **Vulnerabilidade Ambiental** (Santos, R. F. org.). Brasília: MMA. p. 75-93.

VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L. de; LINGNER, D. V. 2013. **Inventário florístico florestal de Santa Catarina: Floresta Ombrófila Densa**. Blumenau: Edifurb. v.4. 576p.

VIEIRA, B. C.; FERNANDES, N. F. 2004. Landslides in Rio de Janeiro: the role played by variations in soil hydraulic conductivity. **Hidrol. process**. 18:791-805.

WOLLE, C.M.; PEDROSA, J.A.B. 1981. Horizontes de transição condicionam mecanismos de estabilização de encostas na Serra do Mar. In: **Anais...** CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema. Itapema, 1981, v. 2, p. 121-135.

**ABSTRACT:** The objective of this work is analyze the spatial relationships between landslides and a set of potential conditioning factors and, from these analyzes, propose and testing susceptibility models for geomorphological unit named Serras Cristalinas Litorâneas in the municipality of Blumenau. The application of Bayes rule

of conditional probability, using the technique weights of evidence, allowed to analyze the spatial relationship between a set of potential conditioning factors (related to geological, geomorphological and land cover aspects) and 89 landslides occurred in 2008 event in the study area. The combination of the weights of the factors distance from lineaments, aspect, plan curvature and slope (model 4) presents the best settings, between models that meet the independence requirements. From these models, it is possible to recognize that situations of high to very high susceptibility may vary between 7,5% (model 1) to 25% (model 4) of the area of this compartment, on 1: 25.000 scale.

**KEYWORDS:** susceptibility analysis; condicional probability; geomorphological compartmentation.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-93243-39-4



9 788593 243394