

## CAPÍTULO 15

# SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CEDRO/SC

DOI: [http:// dx.doi.org/10.18616/plansus15](http://dx.doi.org/10.18616/plansus15)

*William de Oliveira Sant Ana*

*Jader Lima Pereira*

*Jóri Ramos Pereira*

*Samira Becker Volpato*

*Álvaro José Back*

*Nilzo Ivo Ladwig*

VOLTAR AO SUMÁRIO

## INTRODUÇÃO

A região sul brasileira é periodicamente afetada por fenômenos naturais extremos, os quais causam prejuízos sociais, econômicos e ambientais (SAITO *et al.*, 2009). O principal fator determinante para a ocorrência desses eventos em Santa Catarina é o relevo constituído por áreas declivosas, que somadas às condições climáticas e às ações antrópicas desenvolvidas na ocupação e utilização do espaço favorecem a ocorrência de movimentos de massa, bem como o acúmulo de água e de detritos nas áreas baixas (PAULINO, 2013). Segundo Ludwig e Mattedi (2016), percebe-se, em nível mundial, que nas últimas décadas tem aumentado o número de ocorrências de desastres naturais e ou induzidos, o que pode indicar dois distintos processos: a intensificação das ocorrências ou mesmo a maior capacidade de registro.

Movimentos de massa, como os escorregamentos, podem ser potencializados não só pela ação natural da água, mas também pela significativa modificação artificial do relevo, como feitiço inadequado de taludes, abertura de estradas, ocupações irregulares, desmatamento, aplainamentos, etc. Uma área de risco é aquela passível de ser atingida por fenômenos naturais e/ou induzidos antropicamente, sendo que as pessoas que a habitam estarão mais vulneráveis (AMARAL; REIS, 2017).

De acordo com a Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012 (BRASIL, 2012), artigos 7º e 8º, que instituiu a Política Nacional de Proteção de Defesa Civil (PNPDC), estados e municípios brasileiros têm o dever de identificar e mapear as áreas de riscos de desastres. Essa exigência obriga a comunidade brasileira a apropriar-se do conceito de risco, saber identificá-lo, bem como mapeá-lo (MICHEL; KOBİYAMA, 2016), visando à aplicação de medidas preventivas, ou mesmo de medidas corretivas estruturais e/ou não estruturais.

Mapear risco implica, antes de tudo, mapear adequadamente a suscetibilidade natural, que pode ser a causa deflagradora de perigo, componente da análise de risco (REBELO, 2003). Silveira *et al.* (2014) enfatizam que mapear a suscetibilidade natural envolve técnicas de viés preditivo, que objetivam

definir eventos potencialmente perigosos, as condições espaciais e temporais de sua ocorrência. Entretanto, ainda se está diante da falta de critérios consensuais, que estejam preestabelecidos e sejam adotados de forma padronizada, como o melhor método para mapeamentos de suscetibilidade.

Associando-se às características fisiográficas da Bacia Hidrográfica do rio Cedro (BHRC), no sul do estado de Santa Catarina, como variada litologia, alta declividade, feições geomorfológicas das encostas, cobertura do solo, com o regime de chuvas, pode-se afirmar que essa área é susceptível a escorregamentos, sendo eles deflagrados durante eventos de alta pluviosidade.

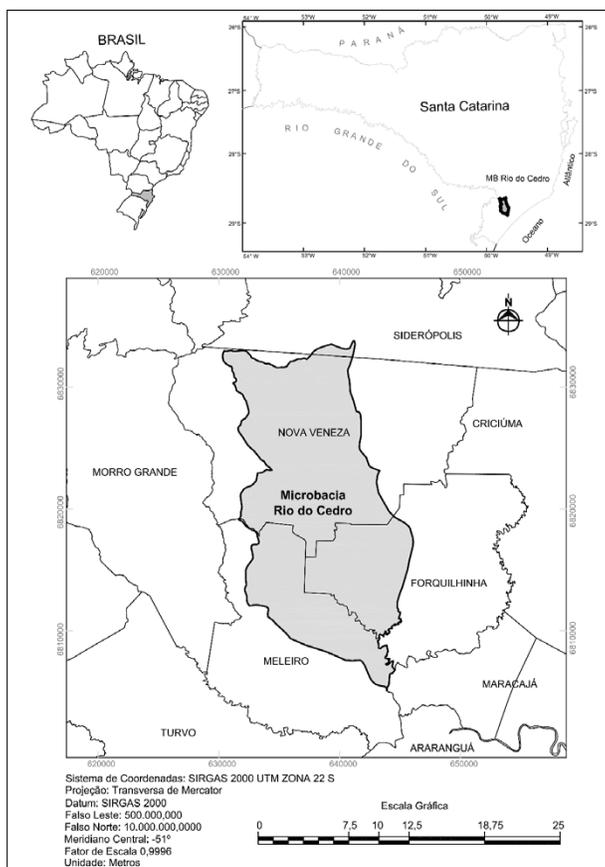
O escopo deste trabalho consistiu em mapear áreas de alta suscetibilidade aos escorregamentos na BHRC, utilizando-se de geotecnologias, como a álgebra de mapas (AMARAL; REIS, 2017). A aplicação se deu com a combinação de mapas base, hierarquização de pesos ponderados entre eles, organização em matrizes, com classes individualizadas, valoradas para cada mapa, que então serão quantificadas, compondo uma equação de suscetibilidade aos escorregamentos (FELL *et al.*, 2008). Essas estratégias são aplicações correntes e usuais, entretanto, com o constante desafio de ponderar-se adequadamente a importância de um mapa (nível de informação) em relação aos demais, bem como das classes individuais de cada mapa. É exemplo de combinação qualitativa a Análise Hierárquica de Processos – AHP (SOETERS; VAN WESTEN, 1996).

A métrica da AHP foi idealizada e aplicada por Saaty (1977) e trata-se de uma técnica de redução do estudo de sistemas por meio da comparação pareada. Nessa técnica, os critérios componentes de uma análise são comparados de dois a dois, atribuindo-se um valor de julgamento resultante do relacionamento entre eles, de acordo com uma escala preestabelecida, que define o grau de importância (ROSAS E SILVA, 2007). O uso da AHP vem ganhando destaque nos estudos geográficos e geomorfológicos (AMARAL; REIS, 2017), contribuindo para melhores análises espaciais dos riscos, desde que combinada à geotecnologia com os trabalhos de validação na área de estudo elencada.

## Localização da Área de Estudo

A BHRC compreende uma área total de 266,11 km<sup>2</sup>, entre as coordenadas UTM E: 630,268; 646,273 e N: 6833,850; 6805,031. É uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do rio Araranguá, que por sua vez faz parte da Bacia do Atlântico Sul e está localizada (Figura 1) nos municípios de Siderópolis (0,9%), Nova Veneza (53,50%), Forquilha (21,41%) e Meleiro (24,16%), todos no estado de Santa Catarina.

Figura 1 - Mapa de localização da BHRC



Fonte: Elaborada pelos autores.

Climaticamente, a região sul catarinense enquadra-se no subtipo Cfa (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), atribuído à ampla distribuição espacial dos sistemas de circulação atmosférica durante todos os meses do ano, com um total anual de 1.624 mm de precipitação – normal de chuvas de 1960-91 (NIMER, 1989; MONTEIRO; FURTADO, 1996). Conforme Sônego (2002), no sul catarinense predomina o clima de latitudes subtropicais. Menciona-se, também, a influência da orografia na formação e distribuição de chuvas, mais comum entre os meses de setembro e março, tendo em vista a circulação atmosférica de ventos de direção nordeste, úmidos, alimentados pela Massa Tropical Atlântica que está posicionada sobre o Atlântico Sul. Em relação à cobertura vegetal local, a bacia do rio Cedro encontra-se inserida no contexto fitoecológico da Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2012).

A BHRC tem sua nascente principal no município de Nova Veneza e encontra-se à margem direita do rio Mãe Luzia, um dos principais formadores da Bacia Hidrográfica do rio Araranguá. Seus principais afluentes pela margem esquerda, de montante para jusante, são os rios Águas Frias, Cantão, Sanga, Sanga do Engenho e Sanga do Café. E, pela margem direita, o rio Turvo, o córrego Colonetti e o rio Braço do Cedro. Ao longo de todo o curso principal do rio, e mesmo em seus principais afluentes nas rupturas de declive que sustentam diferentes níveis de base local (BROOKFIELD, 1998), é observada grande quantidade de seixos e blocos, ou seja, de sedimentação aluvial (ORFEO, 1996).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Método AHP**

Dentre as métricas disponíveis para mapear a suscetibilidade aos escorregamentos na área de estudo, conforme Komac (2006), a AHP, desde o princípio (SAATY, 1977), vem sendo empregada em diversos estudos de casos em estudos de suscetibilidade ambiental e escorregamentos, que resultem em mapas combinados, com respostas ponderadas de análises da paisagem (MAGALHÃES *et al.*, 2011).

Dessa forma, o objetivo inicial do método AHP consiste em estabelecer uma escala de importância entre fatores analisados e, posteriormente, organizá-los em uma matriz para que sejam relacionados, pareados, podendo refletir de fato se há uma hierarquia de importância de um fator sobre outro(s). Rosas e Silva (2007) coloca que na análise dos elementos dessa hierarquia é feito o questionamento: com que peso fatores isolados de hierarquia baixa influenciarão o fator máximo? Os pesos relativos obtidos destacarão as prioridades e diferenças entre os critérios analisados, ou seja, a AHP se trata de uma estruturação multicritérios de definição de hierarquias.

Desse modo, para a BHRC, foram elencados mapas base, ou níveis de informação primários, a exemplo da geologia, da geomorfologia, da declividade e da cobertura do solo, objetivando a obtenção final da equação e do mapa de suscetibilidade aos escorregamentos. No *software* Idrisi Selva<sup>®</sup> foi estabelecida uma escala de importância desses mapas (fatores) analisados e, posteriormente, organizados em uma matriz, pareados, exprimindo a hierarquia de importância de um fator sobre outro(s).

Uma vez estruturada a equação de hierarquias dos fatores para a área de estudo, foi determinada a consistência dos pesos, que foram atribuídos a cada um dos critérios da análise, ou seja, validar, ponderando de acordo com uma Razão de Consistência (RC), que se trata de uma análise de sensibilidade, indicativa do relacionamento lógico dos julgamentos, cuja qualidade e coerência será determinada pelo cálculo do autovalor máximo (CORSEUIL, 2006).

A aplicação desse método prescinde dos mapas base, contudo, para sua posterior aferição/calibração, faz-se necessária uma visita de campo para identificar episódios de escorregamentos, visíveis em cicatrizes nas encostas.

## **Obtenção da Base de Dados**

O mapeamento temático do uso e da ocupação da terra foi realizado a partir do processamento digital de imagens do sistema sensor SENTINEL-2, datado do dia 28 de abril de 2018, órbita ponto número 38, obtida no catálogo de imagens do *Earth Explorer* do Serviço Geológico dos Estados Unidos

(*United States Geological Survey* – USGS). As imagens utilizadas possuem resolução espacial de 10 metros. Na realização da classificação supervisionada, utilizaram-se as bandas três (verde), quatro (vermelho) e oito (infravermelho próximo). No processamento das imagens, utilizaram-se os *softwares* ArcMAP 10.3.1 (Esri), IDRISI Selva (Clark Labs) e QGIS 2.18.1.

As imagens foram pré-processadas utilizando-se a ferramenta GDAL do *software* QGIS, com o objetivo de converter o formato do arquivo *raster* (\*.jp2 – \*.rst). Após a conversão do formato do arquivo, procedeu-se à importação das imagens no *software* IDRISI Selva. Nesse *software*, procedeu-se à análise de histograma e à aplicação de contraste por meio da equalização de histograma. Na sequência, foi realizada a composição colorida falsa-cor (R=banda 8; G=banda 4; B= banda 3).

Na classificação do uso e da ocupação da terra foram definidas cinco classes de mapeamento: vegetação arbórea, silvicultura, agroecossistemas, rizicultura e sombra (Quadro 1). A inclusão de uma classe de mapeamento para as sombras foi necessária para reduzir os conflitos gerados durante o processo de classificação supervisionada.

Quadro 1 - Descrição das classes de uso e da ocupação da terra utilizadas para o mapeamento da bacia hidrográfica do rio Cedro

Classe	Descrição
Vegetação arbórea	Compreende os fragmentos de Floresta Ombrófila Densa em seus diferentes graus de regeneração natural.
Silvicultura	Compreende as porções da Bacia do rio Cedro destinadas ao cultivo de <i>Eucalyptus</i> spp. e <i>Pinus</i> spp.
Agroecossistema	Compreende as porções da bacia onde se observam pastagens (campos plantados) e cultivos de sequeiro.
Rizicultura	Áreas destinadas ao cultivo de arroz irrigado.
Sombra	Compreende as áreas de sombra na imagem decorrentes da complexidade geomorfológica da bacia

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para coletar as amostras de treinamento, foi realizada a segmentação das imagens, utilizando como base uma composição colorida falsa-cor (bandas 8/4/3). Para isso, foi definido um índice de similaridade igual a 20. A coleta das áreas de treinamento teve, então, como base os segmentos gerados. Os segmentos amostrados foram utilizados para gerar o arquivo de assinatura das classes de uso da terra. Na sequência, foi realizada a classificação *pixel a pixel* por meio do algoritmo de classificação supervisionada Máxima Verossimilhança (MAXVER).

Para o diagnóstico das litologias na área, foi utilizado o mapa geológico elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (KREBS, 2004), obtido do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos (PLGB) executados em todo o território nacional. Em relação à geomorfologia, adotou-se a classificação taxonômica considerando-se os critérios de Ross (1992) e Caseti (2005), na qual foi aplicada uma classificação até o 4º táxon. Dessa forma, após a compartimentação do relevo da área de acordo com os diferentes táxons ou fisiologia da paisagem, conforme Tricart (1978), foi elaborado um mapa geológico e geomorfológico na escala 1:100.000, balizando-se em trabalho prévio da CPRM (2005) e de Dantas *et al.* (2005).

Com relação à declividade, os intervalos das classes adotadas correspondem à proposição adaptada de De Biasi (1993), enquanto os intervalos de altimetria definidos para a hipsometria foram delineados de acordo com as principais rupturas de declive, sendo definidos cinco intervalos, que contemplam a planície costeira, colinas suaves, morros, espigões e escarpa de planalto, oportunizando uma visão em perfil dos intervalos traçados.

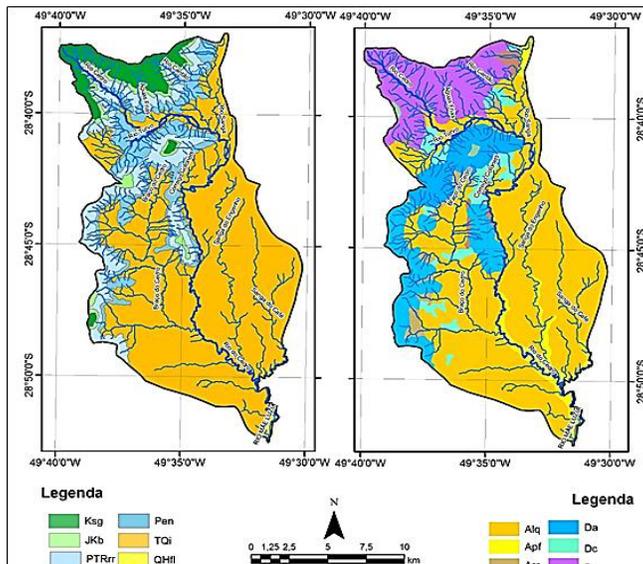
## **APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **Geologia e Geomorfologia**

As litologias na área são representadas pela coluna estratigráfica da Borda Leste da Bacia do Paraná e pelos sedimentos da Planície Costeira. Como pode ser visto na Figura 2, no alto curso, a montante de rio Cedro Alto,

afloram duas Formações do Gondwana, a Formação Estrada Nova (Pen) e a Formação rio do Rasto (PTRrr), sotopostas pela Formação Botucatu (JKb), as quais são capeadas pelas rochas extrusivas vulcânicas da Formação Serra Geral (Ksg) (KREBS, 2004).

Figura 2 - Comparativo entre geologia (litologia), à esquerda, e a geomorfologia, à direita, na BHRC



Fonte: Adaptada de CPRM (2005) e Dantas *et al.* (2005).

A porção de média e baixa bacia do rio Cedro apresenta predominância do domínio da cobertura sedimentar pós-Gondwana, recoberta por leques aluviais (TQi), datados do Terciário e Quaternário Inferior (DUARTE, 1995; PONTELLI, 2005). Também ocorrem depósitos do Holoceno, sendo eles fluviais, situados no exutório da bacia, ou seja, na confluência do rio Cedro com o Mãe Luzia. A gênese dos leques está associada a pretéritos movimentos de massa, oriundos na vizinha escarpa da Serra Geral, que entulharam os eixos principais de drenagem com fluxos de detritos e corridas de lama.

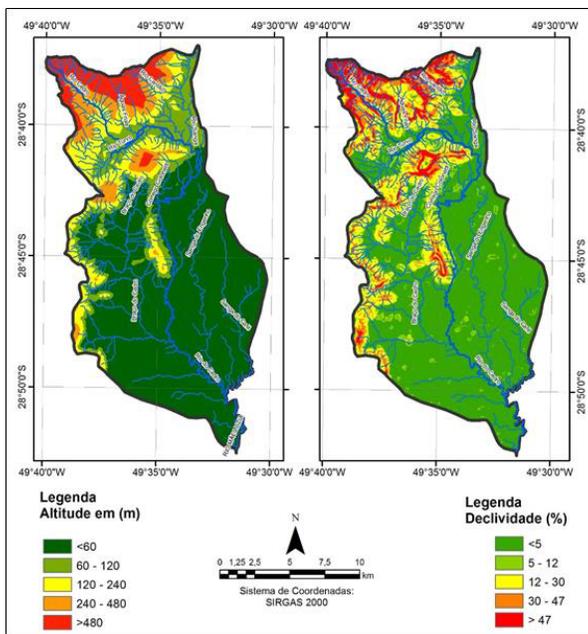
O primeiro táxon de classificação da fisiologia da paisagem (TRICART, 1978) é relativo ao Domínio Morfoestrutural de uma área, e, na alta bacia, relaciona-se à Cobertura Sedimentar Gonduânica, com recobrimento por rochas extrusivas básicas e, na baixa bacia, por cobertura pós-Gonduânica. Contudo, é no quarto táxon que se pode verificar os dois modelados de relevo na bacia do rio Cedro: de dissecação, com condicionamento litológico e morfogênese diferencial; e de acumulação, nas planícies e base das elevações.

Na parte norte da bacia, que possui as principais cabeceiras de drenagem, verifica-se a dissecação em escarpas (De), morros testemunhos, espigões e cristas serranas (Da), colinas e morros baixos (Dc), ou mesmo morfologias de topos tabulares de aplainamento, condicionadas por litologias de arenitos (Dp), como visto na Figura 2. Nas vertentes íngremes transicionais de relevos de dissecação e agradação, ocorrem rampas de colúvio (Arc) e rampas de colúvio interdigitadas com depósitos de tálus (Arct). Nos relevos de acumulação, predominam os leques aluviais (Alq) e, subordinadamente, as planícies fluviais (Apf) (DANTAS *et al.*, 2005).

## **Altimetria e Declividade**

O comparativo entre altimetria e declividade pode ser visualizado na Figura 3, já as suas quantificações em classes aparecem nas Tabelas 1 e 2. A altimetria majoritária da bacia do rio Cedro, abaixo dos 120 m (cerca de 75 % de toda a área da bacia) coincide com os terrenos com declividade inferior a 12%, ou seja, classificados como várzea, plano ou suave ondulado. Esses locais também coincidem com as planícies genéticas de TQi, contudo, de morfologia adequada para a rizicultura.

Figura 3 - Altimetria da bacia, à esquerda, e seu comparativo com as declividades



Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 1 - Classes de Altimetria, superfície absoluta e percentual no interior da bacia

Altimetria (m)	Área	
	km <sup>2</sup>	%
< 60	165,98	62,37
60 a 120	35,12	13,20
120 a 240	31,37	11,79
240 - 480	17,85	6,71
> 480	15,79	5,93
<b>Total</b>	<b>266,11</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborada pelos autores.

Por outro lado, com 15,79 km<sup>2</sup>, ou 5,93% da área, também se faz representativa a classe de altimetria acima de 480 m de cota. Nesses locais, o relevo escarpado do planalto sul brasileiro apresenta declividades que ultrapassam os 30%, ou seja, categorizam um terreno forte ondulado ou montanhoso. Essas considerações de altimetria/declividade reforçam as interpretações geomorfológicas.

Tabela 2 - Classes de declividade, superfície absoluta e percentual no interior da bacia

Declividade (%)	Área	
	km <sup>2</sup>	%
< 5	170,64	64,12
5 a 12	19,64	7,38
12 a 30	40,37	15,17
30 a 47	20,67	7,77
> 47	14,79	5,56
Total	<b>266,11</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborada pelos autores.

## Uso e ocupação da terra

A BHRC tem como uso predominante a rizicultura (cultivo de arroz irrigado), que ocupa 48,0% (12.762,40 ha) do seu território. Além dela, outros usos antrópicos são observados na bacia, como o agroecossistema, com 16,1% (4.274,20 ha), e a silvicultura, com 9,3% (2.470,77ha) conforme tabela 3.

Os ambientes naturais representados pelos fragmentos de Floresta Ombrófila Densa são observados cobrindo apenas 22,4% (5.945,21 ha) da área de estudo. A redução da cobertura florestal da bacia é ainda mais intensa quando avaliadas as diferentes formações da Floresta Ombrófila Densa. A Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas é aquela que apresenta a menor área de

vegetação arbórea, sendo registrados apenas 3,08 ha de áreas naturais (Tabela 3). É condição esperada, uma vez que essa porção da bacia compreende os terrenos de declividade mais suave e altitude variando entre 5 e 30 m, mais propícios à prática do cultivo de arroz irrigado.

Nos terrenos de maior elevação (30-400 m), observa-se uma maior concentração da classe vegetação arbórea, representada pelos fragmentos de Floresta Ombrófila Densa Submontana. Nessa faixa altitudinal, as classes de uso antrópico têm uma significativa redução em sua extensão, e a vegetação arbórea cobre 38,35%. Essa condição coloca a porção do médio rio Cedro em uma situação de alta fragmentação (10-60%) (FISCHER; LINDENMAYER, 2007; MCINTYRE; HOBBS, 1999). Nas porções mais elevadas na bacia, acima de 400 m de altitude, não se observa a prática de cultivo do arroz irrigado. Nessas porções, predominam as áreas de vegetação arbórea, sendo observada a fragmentação moderada da paisagem.

Tabela 3 - Classes de uso da terra em hectares, observadas na Bacia Hidrográfica do rio Cedro, sul de Santa Catarina

Classes	FOD Altomontana	FOD Montana	FOD Submontana	FOD Terras Baixas	Total Geral	%
Rizicultura	-	-	3.600,23	9.162,17	12.762,40	48,0
Vegetação arbórea	17,83	1.167,57	4.756,72	3,08	5.945,21	22,4
Agroecossistema	0,74	13,95	1.878,41	2.381,10	4.274,20	16,1
Silvicultura	2,16	126,09	1.667,19	675,32	2.470,77	9,3
Sombra	28,02	593,92	499,80	-	1.121,74	4,2
<b>Total Geral</b>	<b>48,75</b>	<b>1.901,54</b>	<b>12.402,36</b>	<b>12.221,68</b>	<b>26.574,32</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Elaborada pelos autores.

## Aplicação do método da AHP

Utilizando-se de dados cartográficos da base levantada e construída, bem como de complementações nas atividades de campo na bacia em estudo, enunciou-se quatro mapas temáticos (declividade, geologia, geomorfologia e uso do solo) para a obtenção, via cruzamento, da equação de susceptibilidade a escorregamentos na área de estudo.

O trabalho contou com a fase teórica, com o intuito de melhor atribuir a intensidade de importância dos mapas temáticos ou parâmetros. Nessa etapa, listaram-se os mapas temáticos em uma tabela, na qual foi determinada a hierarquia, ou importância de cada mapa, ou parâmetro, definindo-se, assim, pesos ou notas para os elementos da paisagem da bacia. Para tal, adotou-se a metodologia AHP, e com esse método objetivou-se a aplicação de uma matriz quadrada na qual seriam dispostos os parâmetros nas linhas e colunas, cruzando-se os valores entre si. Na matriz, foram feitas as médias de cada parâmetro, coluna “Pesos”, resultando nos valores para a formulação da equação de susceptibilidade aos escorregamentos na BHRC.

$$SE=0,4741D+0,2072Gm+0,1878Ge+0,1308US$$

Em que: SE = Suscetibilidade aos escorregamentos;

D = Declividade;

Gm = Geomorfologia;

Ge = Geologia;

US = uso do solo.

A Razão de Consistência (RC) para essa equação formada totalizou 0,08. Komac (2006) afirma que a RC é a probabilidade de que os valores dos julgamentos tenham sido aleatórios, variando de 0 a 1, e de que seu resultado não poderá ser maior que 0,1 (10% de inconsistência), senão implicará em rea-

valiação, ou mesmo rejeição dos pesos atribuídos. Dessa forma, a equação formada para escorregamentos na BHRC apresenta-se com consistência aceitável.

O próximo passo para que essa equação pudesse ser aplicável foi a multiplicação da constante de cada parâmetro pelo valor de susceptibilidade de cada classe temática, obtida com a discretização e a reclassificação dos mapas ou parâmetros. Desse modo, organizou-se cada mapa em grupos seletos de similaridade. Essa reclassificação de mapas visou à simplificação e à reunião das informações mais importantes em grupos de similaridade, propiciando, assim, que as combinações entre os parâmetros e suas classes possam ser viáveis para a aplicação de SIG (Tabela 4).

Tabela 4 – Mapas, hierarquias, classes e seus respectivos pesos para aplicação da AHP

Mapa Temático	Hierarquia do mapa	Classe	Peso da classe	RC
Declividade	0,4741	> 47	0,5017	0,02
		30 a 47	0,2402	
		12 a 30	0,1332	
		5 a 12	0,0755	
Geomorfologia	0,2072	< 5	0,0494	0,06
		Escarpa	0,7085	
		Morros	0,2311	
		Planície	0,0603	
		Formação Serra Geral	0,3754	
		Formação Botucatu	0,2506	
Geologia	18,78	Formação Rio do Rasto	0,2117	0,08
		Formação Estrada Nova	0,1124	
		Leques aluviais	0,0249	
		Planície Fluvial	0,0249	
Uso do solo	0,1308	Agroecossistemas	0,5596	0,02
		Silvicultura	0,2495	
		Rizicultura	0,0955	
		Vegetação arbórea	0,0955	

Fonte: Elaborada pelos autores.

Como produto da aplicação da equação, considerando os pesos de cada fator e das respectivas subclasses, obteve-se o mapa final de suscetibilidade a escorregamentos na BHRC, conforme Figura 4. Esse mapa, obtido via cruzamento dos mapas base originais, mostrou a distribuição espacial das áreas de alta suscetibilidade a escorregamentos (cores quentes), Tabela 5, que

na BHRC corresponde a 1.645,6 ha, ou 6,2 % da bacia. É notório que esses locais coincidem com aqueles identificados como de maiores altimetrias e, principalmente, declividades, um terreno forte ondulado e montanhoso.

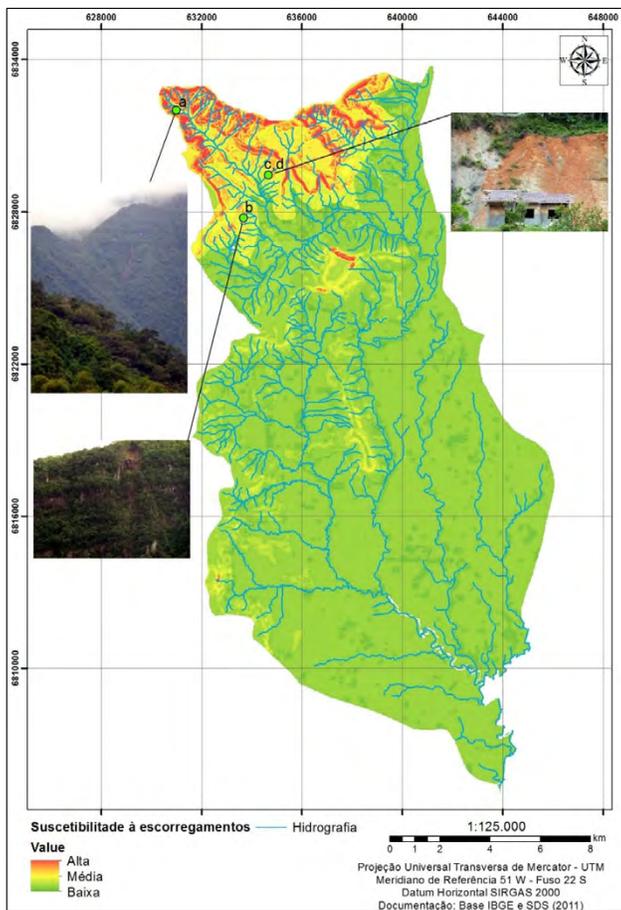
Após a aplicação do método AHP e da obtenção do mapa de suscetibilidade natural a escorregamentos, no dia 09 de novembro de 2018, realizou-se uma incursão em campo, com foco nas áreas zoneadas como de alta suscetibilidade, que pudessem ofertar maior perigo. Em campo, foram visualizadas diversas cicatrizes evidentes de episódios de escorregamentos pretéritos, com destaque para quatro, apresentadas na Figura 5, coincidindo com as áreas zoneadas no mapa idealizado e obtido pré-campo, Figura 4 (a, b, c, d). Enquanto na Figura 5 (a e b) observa-se escorregamentos em áreas florestadas nas escarpas, bem como (c e d) que o mesmo ocorreu em corte de terreno situado atrás da casa, que se encontra em construção, um perigo iminente, expondo a vulnerabilidade dessa população.

Tabela 5 – Quantificação das classes de suscetibilidade na BHRC

<b>Classes de Suscetibilidade</b>	<b>hectares</b>	<b>%</b>
Baixa	21.655,3	81,4
Média	3.310,1	12,4
Alta	1.645,6	6,2
<b>Total</b>	<b>26.610,9</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 4 - Mapa de suscetibilidade a escorregamentos na BHRC



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 5 - Escorregamentos identificados na área de estudo durante a validação do mapa de suscetibilidade



Fonte: Acervo dos autores.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A análise e precisa identificação espacial de áreas de maior suscetibilidade a movimentos de massa presta um auxílio para o planejamento e a gestão do território. Escorregamentos ocorrem pela combinação de vários fatores, os quais devem ser levantados e entendidos separadamente para que possam ser reunidos na ótica da álgebra de mapas, ofertando um mapa final de suscetibilidade a escorregamentos, exatamente como foi procedido no estudo apresentado neste capítulo.

Para tanto, concluiu-se que a incorporação do método AHP contribui para dirimir a subjetividade que afeta essa seara de mapeamento, melhorando a confiabilidade do diagnóstico executado, podendo servir de

instrumento norteador de estudos precisos de engenharia ou executivos. O método AHP aplicado na BHRC, utilizando-se de quatro fatores da fisiografia local (declividade, geologia, geomorfologia e cobertura do solo), ofereceu um resultado ajustado com a realidade observada em campo, na qual as classes de suscetibilidade foram validadas.

Recomenda-se a aplicação desse método para casos análogos, pelos seus resultados satisfatórios, adaptados à realidade que foi validada em campo, os quais foram imprescindíveis. O método apresentou baixo custo de execução, mesmo contando com base cartográfica de qualidade à disposição.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, C. M.; REIS, C. H. Suscetibilidade a escorregamentos e inundações: hierarquização dos graus de riscos na área urbana de Viçosa-MG. **Revista da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia**, [S.l.], v. 13, n. 21, p. 199-219, maio/ago. 2017.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 11 abr. 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm). Acesso em: 06 out. 2017.

BROOKFIELD, M. E. The evolution of the great river systems of southern Asia during the Cenozoic India-Asia collision: Rivers draining southwards. **Geomorphology**, [S.l.], v. 22, n. 3-4, p. 285-312, 1998.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.:s.n.]: [2005]. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/>. Acesso em: 06 out. 2017.

CORSEUIL, C. W. **Técnicas de Geoprocessamento e de análise de multicritérios na adequação de uso das terras**. 2006. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Mapa Geomorfológico da Bacia do Rio Araranguá/SC e Faixa Costeira Adjacente**. Escala 1:100.000, 2005. [S.l.], CPRM, 2005.

DANTAS, M. E.; GOULART, D. R.; JACQUES, P. D.; ALMEIDA, I. S.; KREBS, A. S. J. Geomorfologia aplicada à gestão integrada de bacias de drenagem: Bacia do rio Araranguá (SC), zona carbonífera sul catarinense. *In*: COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS – CPRM. Departamento de Hidrologia. Superintendência de Porto Alegre. **Estudos hidrológicos e hidrogeológicos da bacia hidrográfica do rio Araranguá (SC) (Mapas e Relatório)**. Porto Alegre, RS: CPRM-DEHID-SUREG-PA, 2005.

DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 45-60, 1993.

DUARTE, G. M. **Depósitos Cenozóicos Costeiros e a Morfologia do Extremo Sul de Santa Catarina**. 1995. 351 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995. [Vol. 01.].

FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. Z. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. **Engineering Geology**, [S.l.], v. 102, p. 99-111, 2008.

FISCHER, J.; LINDENMAYER, D. B. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. **Global Ecology and Biogeography**, [S.l.], v. 16, p. 265-280, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2012.

KOMAC, M. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. **Geomorphology**, [S.l.], v. 74, n. 17-28, 2006.

KREBS, A. S. J. **Contribuição ao Conhecimento dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC.** 2004. 376 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LUDWIG, L.; MATTEDI, M. A. Dos desastres do desenvolvimento ao desenvolvimento dos desastres: a expressão territorial da vulnerabilidade. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [S.l.], v. 39, p. 23-42, dez. 2016.

MAGALHÃES, I. A. L.; THIAGO, C. R. L.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, [S.l.], v. 8, n. 2, nov. 2011.

MCINTYRE, S.; HOBBS, R. A Framework for Conceptualizing Human Effects on Landscapes and Its Relevance to Management and Research Models. **Conservation Biology**, [S.l.], v. 13, n. 6, p. 1282-1292, dez. 1999.

MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M. Mapeamento de Áreas Susceptíveis a Fluxos de Detritos por Meio de Modelagem Computacional. *In*: LADWIG, N. I.; SCHWALM, H. (orgs.). **Planejamento e Gestão Territorial: Hidrografia e Sustentabilidade.** Florianópolis: Insular, 2016. 304 p.

MONTEIRO, M. A.; FURTADO, S. M. A. O Clima no Trecho de Florianópolis - Porto Alegre: Uma Abordagem Dinâmica. **Geosul**, Florianópolis, v. 10, n. 19-20, p.117-133, 1996.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

ORFEO, O. Criterios para la clasificación de barras en grandes ríos entrelazados de llanura subtropical. *In*: REUNIÓN ARGENTINA DE SEDIMENTOLOGÍA, 6., 1996, Bahía Blanca. **Actas 231-236.** Bahía Blanca: RAS, 1996, p. 231-236.

PAULINO, R. B. **Modelo AHP aplicado à ocorrência de deslizamentos na região nordeste de Santa Catarina**. 2013. 106 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S.l.], v. 11, p. 1633-1644, 2007.

PONTELLI, M. E. **Pedomorfoestratigrafia de Depósitos de Leques Aluviais na Bacia do Rio Itoupava – Sul do Estado de Santa Catarina**. 2005. 125 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

REBELO, F. **Riscos Naturais e Acção Antrópica: Estudos e Reflexões**. 2. ed. Coimbra: Imprensa da Universidade, 2003.

ROSASE SILVA, D. M. **Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais**. 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

ROSS, J. S. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Rev. Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992.

SAATY, T. L. A. Scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of the Mathematical Psychology**, [S.l.], n. 15, p. 234-281, 1977.

SAITO, S. M.; FERREIRA, C. C.; SAUSEN, T. M.; HANSEN, M. A. F.; MARCELINO, I. O. P. V. Sistematização de ocorrências de desastres naturais na região Sul do Brasil. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal, RN: INPE, 2009, p. 2333-2339.

SILVEIRA, C. T.; FIORI, A. P.; SCHILIPACK, P.; DIAS, S. M. Mapeamento preliminar da suscetibilidade natural a movimentos de massa da Serra do Mar Paranaense apoiado na análise digital do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.l.], v.15, n.1, p. 3-22, jan./mar. 2014.

SOETERS, R.; VAN WESTEN, C. J. Slope instability recognition, analysis and zonation. *In: TURNER, A. K., SCHUSTER, R. (eds.). Landslides*

**Investigation and Mitigation.** Transportation Research Board Special report, 247. Washington DC: National Academy Press, 1996.

SÔNEGO, M. O Clima do Litoral Sul de Santa Catarina. *In*: SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DOS CURSOS DE LICENCIATURA, 3., 2002, Criciúma. **Anais...** Criciúma, SC: UNESC, 2002, p. 102-103.

TRICART, J. **Géomorphologie applicable.** Paris: Masson, 1978. 204 p.