

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N^o 68/2, Edição Especial Aplicações dos SIG: 339-354
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS NA MICROBACIA DO RIBEIRÃO BAÚ, ILHOTA/ SC, COM O USO DE MODELAGEM MATEMÁTICA

*Landslide Susceptibility Mapping using Mathematical Model in
Ribeirão Baú basin, Ilhota/SC*

**Regiane Mara Sbroglia¹, Rafael Augusto dos Reis Higashi¹,
Edison Ramos Tomazzoli¹ & Renato Fontes Guimarães²**

**¹Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Departamento de Engenharia Civil**

Córrego Grande, Florianópolis/SC, CEP: 88040-970, Brasil
regi_sb@hotmail.com; rrhigashi@gmail.com; edison@cfh.ufsc.br

**²Universidade de Brasília – UNB
Departamento de Geografia**

Asa Norte, Brasília/DF, CEP: 70910-000, Brasil
renatofg@unb.br

*Recebido em 12 de Junho, 2015/ Aceito em 21 de Novembro, 2015
Received on June 12, 2015/ Accepted on November 21, 2015*

RESUMO

Deslizamentos ocorrem no Brasil em encostas íngremes após eventos de chuva. No ano de 2008 ocorreram precipitações intensas e concentradas que provocaram inúmeros movimentos de massa no estado de Santa Catarina, principalmente na área do entorno do Morro Baú, mudando significativamente a morfologia dos vales e encostas e atingindo a população local. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo elaborar o mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos, a partir do modelo SHALSTAB aferindo-se o desempenho com as cicatrizes mapeadas dos deslizamentos ocorridos em novembro de 2008 na microbacia do Ribeirão Baú. Foi realizado o mapeamento das unidades geotécnicas definindo-se sete unidades, onde foram determinados os parâmetros intercepto coesivo, ângulo de atrito e peso específico. O modelo SHALSTAB foi aplicado utilizando-se os dados topográficos extraídos do modelo digital de elevação (MDE) e os dados geotécnicos. Os resultados demonstraram que a simulação do modelo utilizando a profundidade de 2 metros foi a que apresentou o melhor resultado e obteve a melhor curva de validação, quando comparados com outras simulações utilizando profundidades maiores de solo.

Palavras chaves: Deslizamentos, Modelagem Matemática, SHALSTAB, Mapeamento Geotécnico.

ABSTRACT

Landslides occur in Brazil along steep slope after rainfall episodes. In 2008 happened intense and concentrated rainfall, which caused numerous mass movements in the state of Santa Catarina, especially in the surrounding area of Morro do Baú. It is changed significantly the morphology of the valleys, slopes, and reached local population. Thus, this work has aim to mapping susceptible areas to landslides occurrence from SHALSTAB and comparing model predictions with scars mapped that occurred in November 2008 in the Ribeirão Baú. We mapping geotechnical units with seven

units where were determined soil properties such friction angle, cohesion and bulk density. SHALSTAB model was applied using topographic data from digital elevation model (DEM) and the geotechnical data. The results showed that the simulation using 2m depth obtained the best performance and the best validation curve, when compared with other simulations using the deeper soil layers.

Keywords: Landslides, Mathematical Modeling, SHALSTAB, Geotechnical Units.

1. INTRODUÇÃO

O processo de densificação da população no meio urbano, em todo o mundo, tem aumentado as tensões e o desequilíbrio ambiental com consequências para os seres humanos (LARSEN; TORRES-SANCHES, 1998). As características físicas, tais como clima e distribuição das chuvas, bem como a geologia, relevo e os tipos de solo, são algumas das condições que, aliadas aos padrões de ocupação e ao planejamento territorial, estão associadas a maior ocorrência de desastres naturais por movimentos de massa (MONTGOMERY, 1994).

No Brasil, movimentos de massa associados a períodos de precipitação intensa são recorrentes e grandes causadores de inúmeras perdas humanas e prejuízos econômicos nas regiões atingidas. De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, percebe-se que, dos tipos de desastres registrados no país entre os anos de 1991 e 2012, os movimentos de massa foram os que apresentaram a maior variação neste período, com um aumento de 21,7 vezes (CEPED UFSC, 2013).

Os movimentos de massa ocorrem com maior frequência nas regiões montanhosas e serranas, principalmente, onde predomina clima úmido. Destacaram-se os desastres naturais ocorridos nos últimos anos em Santa Catarina em 2008, Angra dos Reis e Niterói (Rio de Janeiro - RJ) em 2010, Teresópolis (RJ), Petrópolis (RJ) e Nova Friburgo (RJ) em 2011 e Petrópolis (RJ) em 2013.

Ao longo de sua história, Santa Catarina tem sido significativamente afetada por eventos naturais relacionados a movimentos de massa, principalmente nas regiões das formações geomorfológicas Serra do Mar e Serra Geral. No entanto, analisando a magnitude deste tipo de desastre natural ocorrido em novembro de 2008, este foi considerado como o mais severo da história do estado (FRANK; SEVEGNANI, 2009).

Na época ocorreram precipitações intensas e concentradas, resultando no dobro de chuva

prevista para todo o mês, que provocaram grande quantidade de movimentos de massa e áreas inundadas no estado de Santa Catarina, principalmente no Vale do Itajaí. Essa região caracteriza-se por apresentar relevo composto por áreas mais planas, representadas pelas planícies que margeiam o rio Itajaí-açu e seus afluentes, e por serras que alcançam até 980m em relação ao nível do mar com encostas muito íngremes e voltadas para leste. Estas características facilitam a entrada de grande quantidade de umidade oriunda do oceano Atlântico, o que favorece a ocorrência de eventos associados a fortes chuvas, que em muitos casos resultam em desastres naturais (MARINHO *et al.*, 2012).

Em novembro de 2008, dentre os desastres naturais evidenciados na área de estudo, destacaram-se os deslizamentos generalizados e os fluxos de detritos, que mudaram significativamente a morfologia dos vales e encostas e atingiram a população local. Segundo dados da Defesa Civil (2008), dos municípios atingidos, Ilhota apresentou o maior número de vítimas fatais, com 46 mortos, além de 1 desaparecido e 526 desabrigados. Nesse sentido, a microbacia hidrográfica do Ribeirão Baú, pertencente a este município, foi escolhida como área de estudo, tanto pelo interesse científico criado nesta área, tendo em vista a significativa ocorrência e magnitude dos movimentos de massa, quanto pelo número de vítimas fatais, sendo registradas 18 mortes.

As medidas preventivas a desastres naturais podem ser divididas em dois tipos: as estruturais e as não-estruturais. As medidas estruturais são normalmente ações complexas e custosas, pois envolvem obras de engenharia, como estruturas de contenção de encostas, sistemas de drenagem, obras de infraestrutura urbana, realocação de moradias, etc. As medidas não-estruturais, por sua vez, envolvem ações relacionadas às políticas urbanas de planejamento e gerenciamento, como capacitação, sistemas de alerta e mapeamentos prévios. Estas medidas apresentam custos

inferiores e resultados positivos no uso e ocupação do solo, principalmente na prevenção de desastres (KOBAYAMA *et al.*, 2004).

Neste sentido, as medidas não-estruturais de prevenção relacionadas a deslizamentos vêm assumindo importância crescente para pesquisadores e planejadores das áreas geomorfológica, geológica, hidrológica e geotécnica. Estas medidas implicam no estudo dos fenômenos, suas causas, localização espacial, análises temporais, magnitude e possíveis consequências.

Para isso, uma ferramenta relacionada à prevenção é o mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos. Dentre os diversos

métodos de previsão, ressalta-se a importância e a eficiência do uso do ambiente SIG associado a modelagens matemáticas (PARDESHI *et al.*, 2013; GOETZ *et al.*, 2011). Essa combinação vem se destacando como uma ferramenta importante na análise dos processos evolutivos do relevo, à medida que auxilia na previsão da distribuição espacial e causal dos deslizamentos.

Dentre os modelos que compõem esses métodos, mais especificamente para a elaboração de um mapa de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos translacionais, destaca-se o SHALSTAB (*Shallow Landsliding Stability Model*), que é composto pela integração de um

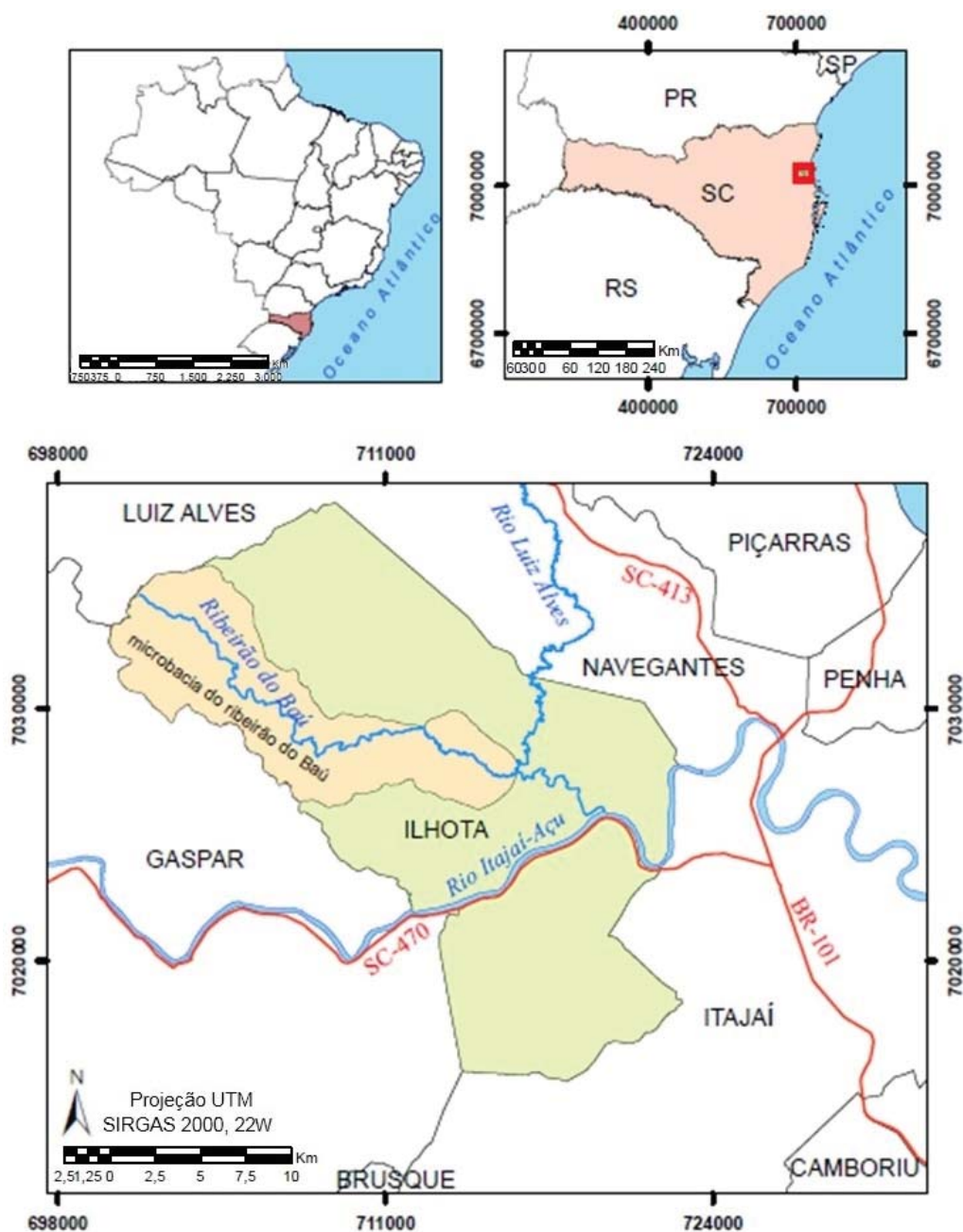


Fig. 1 - Localização da microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC.

modelo de estabilidade de encostas e um modelo hidrológico (MONTGOMERY; DIETRICH, 1994).

Assim, este trabalho possui como objetivo realizar o mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos, a partir do modelo SHALSTAB, utilizando dados topográficos extraídos do Modelo Digital de Elevação (MDE) e dados geotécnicos obtidos por meio do ensaio de cisalhamento direto. A aferição do modelo foi feita comparando-se o resultado com as cicatrizes mapeadas dos deslizamentos ocorridos em novembro de 2008 na microbacia do Ribeirão Baú.

2. ÁREA DE ESTUDO

O Ribeirão Baú pertence à bacia do Rio Luiz Alves, como afluente de sua margem direita. A microbacia do Ribeirão Baú localiza-se na porção noroeste do município de Ilhota/SC, com uma área de 62,7km² (Figura 1).

As características topográficas foram obtidas por intermédio do MDE. Conforme se pode observar na Figura 2, a altitude na microbacia do Ribeirão Baú varia de 0 a 814m, sendo que o seu ponto mais elevado localiza-se no Morro do Baú.

Nesta microbacia ocorrem os domínios geológicos e litológicos denominados Complexo Luiz Alves (gnaisse e núcleos máficos-ultramáficos), Grupo Itajaí (arenito arcoseano, conglomerado e folhelho) e Sedimentos Quaternários (depósitos aluvionares e coluvionares).

O Complexo Luiz Alves ocorre de forma mais frequente no alto da microbacia, sendo constituído em sua maior parte pelos gnaisses. O Grupo Itajaí foi identificado em diversos setores da microbacia, no Morro Baú e na área central. Essas rochas ocorrem em camadas superpostas com pequenas a médias inclinações para sudeste, constituindo elevações do tipo mesa ou em forma de cuesta, devido às inclinações mais pronunciadas. Os Depósitos Quaternários, correspondentes aos depósitos de colúvio-elúvio e aluviões recentes de idade Holocênica, são constituídos por sedimentos inconsolidados com grande variação granulométrica, enquanto os depósitos aluvionares são constituídos por areias, cascalheiras e sedimentos silto-argilosos inconsolidados, depositados em planície de inundação, terraços e calhas da rede fluvial, localizados em maior parte à jusante do Ribeirão Baú (KAUL *et al.*, 2003; ÉGAS, 2011).

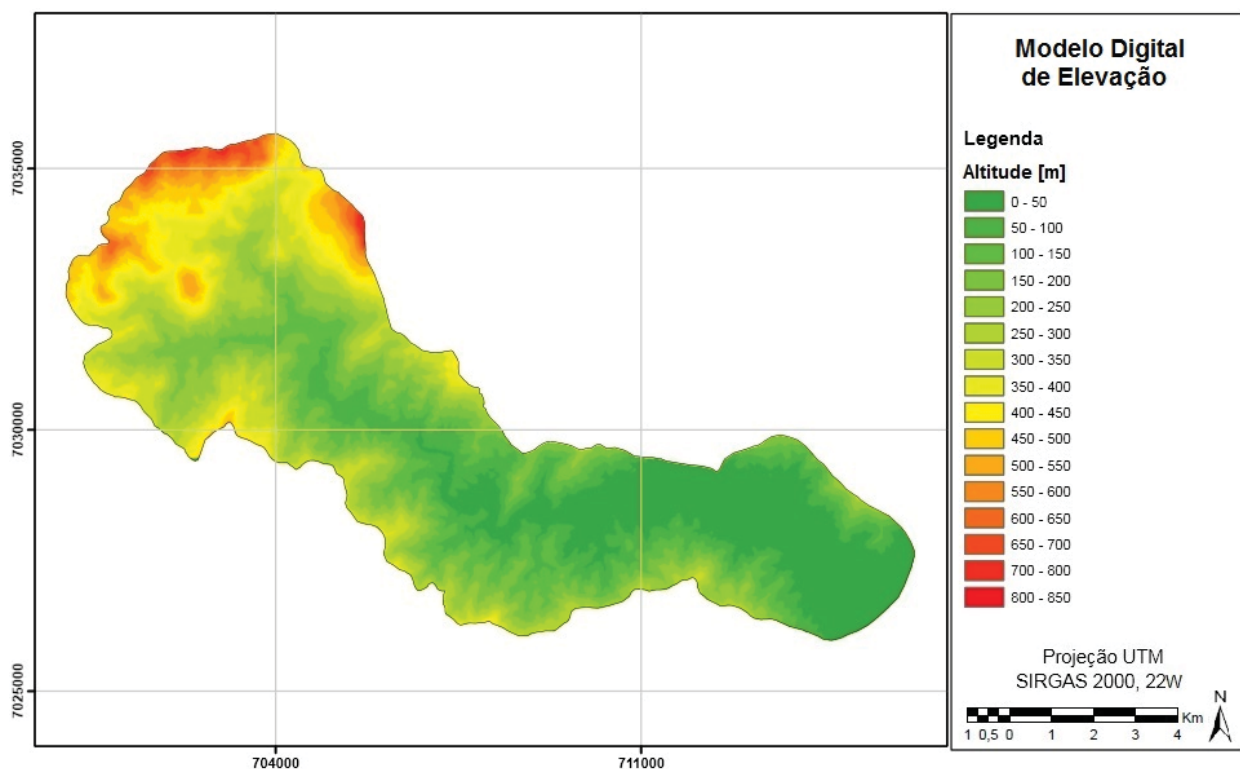


Fig. 2 - MDE da microbacia do Ribeirão Baú.

Quanto à pedologia, foram localizadas áreas de Gleissolo distrófico, Cambissolos álico e distrófico, e o Litólico.

Os Gleissolos são constituídos por solos minerais, com textura variável, porém, ocorre o predomínio das frações argila e silte. São solos com perfis medianamente profundos, mal drenados e com permeabilidade muito baixa. São originados sobre sedimentos do Holoceno, desenvolvidos em várzeas de relevo praticamente plano, margeando rios, ou em locais de depressão e planícies aluvionares sujeitas a inundações. Os Cambissolos são oriundos de materiais de diversas origens e encontrados em condições climáticas variadas. Esta unidade compreende solos de origem mineral, são caracterizados como não hidromórficos, com horizonte B incipiente, de textura franco-arenosa ou mais argilosa e geralmente apresenta teores uniformes de argila (SHIMIZU *et al.*, 2003; EMBRAPA, 2013). O solo Litólico surge em um relevo montanhoso e/ou escarpado e é representado pelo afloramento rochoso que compõe a parte superior do Morro Baú onde há exposição dos conglomerados e arenitos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização das modelagens, são necessários dados de entrada topográficos, hidrológicos e geotécnicos. Assim, serão apresentados os métodos para a obtenção desses dados e para a aplicação e validação do modelo matemático SHALSTAB.

3.1 Obtenção dos parâmetros morfométricos

Para estimar as variáveis espaciais topográficas foi utilizado o MDE do município de Ilhota com tamanho de *pixel* de 1m, obtido junto à Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina - SDS/SC. A partir do MDE em formato *raster*, foram confeccionados o mapa de declividade (θ) em graus e o mapa de área de contribuição por unidade de contorno (*a/b*), que foram utilizados como dado de entrada para a modelagem.

3.2 Obtenção dos parâmetros geotécnicos

Os parâmetros geotécnicos do solo foram determinados por meio de ensaios de laboratório. Para isso, seguiram-se duas etapas: a construção do mapa geotécnico e a realização dos ensaios laboratoriais.

3.2.1 Elaboração do mapeamento geotécnico

Conforme a metodologia desenvolvida por Davison Dias (1995), a partir da sobreposição do mapa pedológico, litológico e das curvas de nível é possível obter um mapa de estimativas de unidades geotécnicas de uma área. Esse mapa foi construído com o intuito de individualizar as unidades de solo com as mesmas características geotécnicas com vistas à coleta de amostras e realização dos ensaios laboratoriais.

Em ambiente SIG, foram sobrepostos os mapas pedológico, em escala 1:100.000, geológico e as curvas de nível, ambos em escalas 1:50.000. As unidades geotécnicas criadas são compostas por polígonos classificados segundo a pedologia, horizontes B e C, representadas por letras maiúsculas, e pela geologia, horizontes RA e R (rocha sã), por letras minúsculas (Figura 3).

A Figura 4 apresenta o mapa geotécnico da microbacia do Ribeirão Baú com as nove unidades mapeadas: Ca – Cambissolo substrato de arenito, Cc – Cambissolo substrato de conglomerado, Cf – Cambissolo substrato de folhelho, Cgn – Cambissolo substrato de gnaíse, Cpi – Cambissolo substrato de piroxenito, Cde – Cambissolo substrato de depósitos de encosta, GHsqa – Gleissolo substrato de sedimentos quaternários, Ra – Litólico substrato de arenito e Rc – Litólico substrato de conglomerado. Além disso, a Figura 4 apresenta os pontos de coleta de solo nas unidades Ca, Cc, Cf, Cgn, Cpi, Cde e GHsqa para a realização dos ensaios de laboratório.

A Tabela 1 apresenta as coordenadas geográficas, o tipo e a estimativa da profundidade de coleta nas unidades geotécnicas.

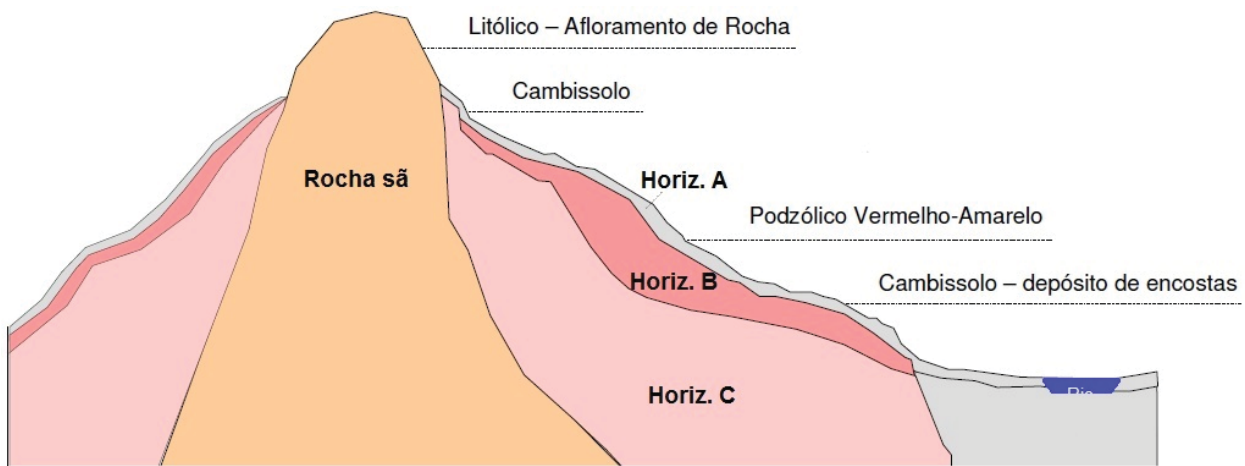


Fig. 3 - Perfil esquemático com a seqüência dos horizontes e tipos de solos. Fonte: Adaptado de Higashi (2006).

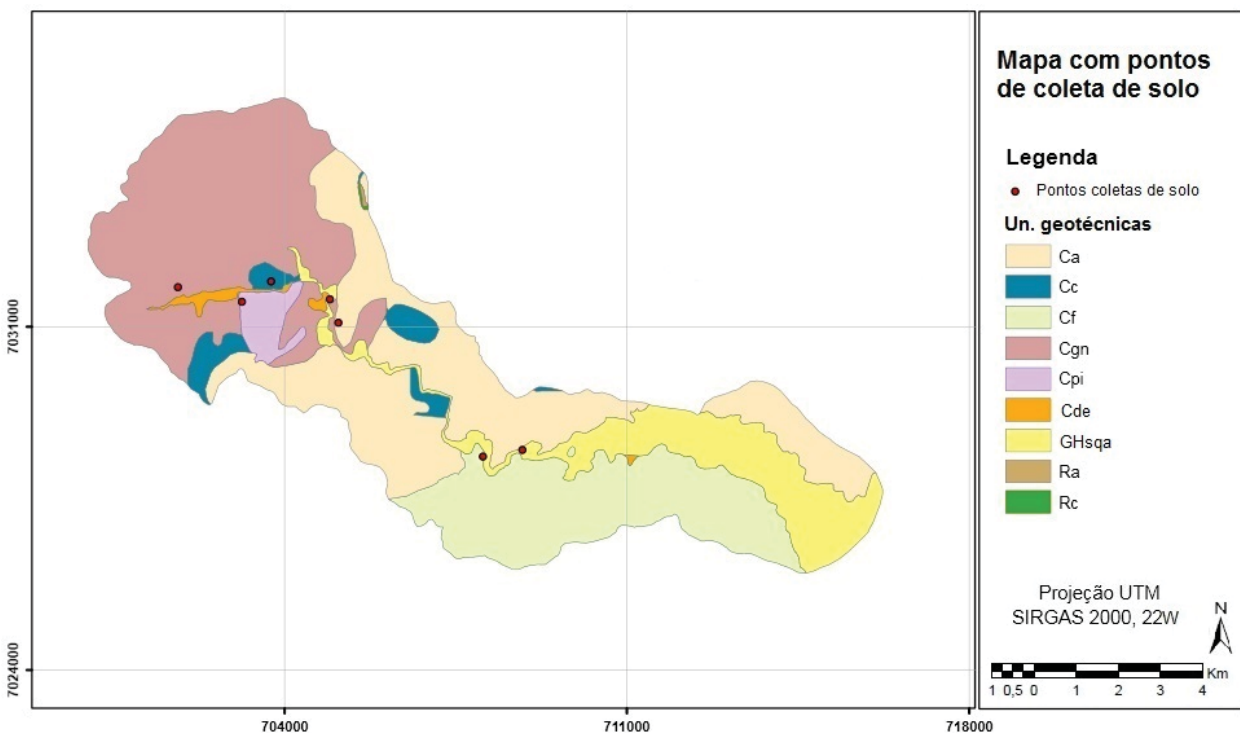


Fig. 4 - Pontos de coleta de amostras de solos nas unidades geotécnicas.

Tabela 1: Pontos de coleta das amostras de solo

Un. Geotéc.	Coord. UTM	Tipo de Coleta	Prof. Coleta
Cf	708106 / 7028402	Indeformada e deformada	2m
Cpi	703180 / 7031560	Indeformada e deformada	4m
Ca	705152 / 7031131	Indeformada e deformada	3m
GHsqa	708918 / 7028537	Deformada	1,2m
Cc	703777 / 7031975	Indeformada e deformada	2,5m
Cgn	701870 / 7031856	Indeformada e deformada	6m
Cde	704978 / 7031608	Deformada	1,5m

3.2.2 Ensaios geotécnicos laboratoriais

Para a caracterização e a análise da estabilidade de encostas, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas no horizonte C, no local onde foi definido como o início do deslizamento (superfície de ruptura), com exceção das unidades Cde e GHsqa por não apresentarem a ocorrência de movimentos de massa.

Foram realizados os seguintes ensaios de caracterização física dos solos: teor de umidade (ABNT NBR6457/1986); granulometria (ABNT NBR7181/1984); massa específica (ABNT NBR

6508/1984); Limites de *Atterberg* (WP - ABNT NBR 7180/1984, WL - ABNT NBR 6459/1984); classificação expedita Miniatura Compactada Tropical - MCT (NOGAMI; VILLIBOR, 1994; GODOY, 1997); e compressão confinada (ABNT MB 3336/1990). Com base nos resultados desses ensaios, os solos foram classificados segundo os métodos convencionais da *American Association of State Highway and Transportation Officials* - AASHTO e pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos - SUCS.

Para a obtenção dos parâmetros de resistência efetiva do solo, intercepto coesivo (c') e ângulo de atrito (φ'), e o peso específico (γ), foram realizados ensaios de cisalhamento direto. Com base na norma internacional da *American Society for Testing and Materials* ASTM D3080/1998, os ensaios do tipo CD (Consolidado Drenado) foram realizados com velocidade de 0,307mm/min na condição inundada e nas tensões efetivas normais de 33, 78 e 128kPa.

Por fim, a espessura média da superfície de ruptura dos deslizamentos (z) foi estimada com investigações em campo nas cicatrizes durante as saídas a campo, e por meio dos relatórios técnicos disponibilizados pelo Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), referências bibliográficas da área do entorno e consulta aos técnicos que visitaram a área logo após os desastres de 2008.

3.3 Modelagem com base SHALSTAB

Desenvolvido nos EUA por Dietrich e Montgomery, o SHALSTAB é um modelo matemático determinístico utilizado na identificação de áreas suscetíveis a ocorrência de deslizamentos translacionais rasos. Posteriormente, foi automatizado para utilização em SIG por Dietrich e Montgomery (1998), tornando possível a espacialização dos dados.

Este modelo utiliza dados hidrológicos, topográficos e geotécnicos para a área em estudo, com o objetivo de determinar a razão entre a quantidade de chuva (q) e a transmissividade do solo (T) necessária para tornar uma encosta instável.

Para a aplicação do modelo utilizou-se o *software ArcGis10.1*. Primeiramente, foram gerados mapas em formato *raster* para cada dado

de entrada: pedológico – intercepto coesivo, ângulo de atrito, peso específico saturado e espessura de ruptura do solo; e topográfico - declividade e área de contribuição por unidade de contorno. Foi utilizado no modelo diferentes valores pedológicos definidos para cada unidade geotécnica mapeada, utilizando o algoritmo desenvolvido por Michel (2013). Os parâmetros obtidos são inseridos na equação 1 (modelo SHALSTAB) para a determinação de áreas suscetíveis a ocorrência de deslizamentos. Devido a determinação da transmissividade ser de difícil obtenção no campo, o modelo foi resolvido em função da razão $\text{Log}(q/T)$.

$$\text{Log} \frac{q}{T} = \frac{b}{a} \text{sen} \theta \left[\frac{\gamma_s}{\gamma_a} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \varphi} \right) + \frac{c}{\gamma_a g z \cos^2 \theta \tan \varphi} \right] \quad (1)$$

onde: q é a taxa de recarga uniforme [mm/d]; T é a transmissividade [m²/d]; a é a área de contribuição a montante [m²]; b é o comprimento de contorno unitário [m]; θ é a declividade [graus]; γ_s é a densidade do solo [kg/m³]; γ_a é a densidade da água [kg/m³]; φ é o ângulo de atrito entre os grãos [graus]; c é a coesão [kPa]; g é a aceleração da gravidade [m/s²]; e z é a espessura de análise do solo [m].

Montgomery e Dietrich (1994) estabeleceram sete classes referentes às condições de estabilidade e saturação em função de $\text{Log}(q/T)$. Foram agrupados em uma mesma classe todos os *pixels* com valores considerados incondicionalmente estáveis e em outra classe os considerados incondicionalmente instáveis. Os valores intermediários ($-3,1 \leq \text{Log}(q/T) \leq -2,2$) foram divididos em classes de transição, isto é, valores mais próximos daqueles considerados incondicionalmente instáveis necessitam de pouca precipitação para ocorrer o deslizamento, enquanto áreas com valores próximos daqueles considerados incondicionalmente estáveis necessitam de elevadas precipitações.

3.4 Validação do modelo SHALSTAB

O mapeamento realizado pelo projeto “Análise e mapeamento das áreas de risco a movimentos de massa e inundações nos municípios de Gaspar, Ilhota e Luiz Alves (Complexo do Morro do Baú), SC” identificou as cicatrizes dos deslizamentos ocasionados pelas intensas chuvas de 2008 (TOMAZZOLI *et al.*,

2012). O inventário de cicatrizes foi elaborado a partir da vetorização de diversas imagens de satélites georreferenciadas, auxílio de fotografias panorâmicas aéreas em sobrevoos de helicóptero e investigações em campo.

A validação do SHALSTAB foi realizada por intermédio da verificação da coincidência espacial entre as cicatrizes dos 527 deslizamentos mapeados e as áreas designadas instáveis pelo modelo.

As cicatrizes foram delimitadas por polígonos de acordo com sua forma geométrica, que levou em consideração o início e alcance da ruptura. Sendo assim, os polígonos englobam não só as áreas de início dos deslizamentos, mas também a corrida e o depósito.

Neste caso, para fins de comparação dos resultados com as cicatrizes, foi determinado o valor mínimo de instabilidade em cada polígono. Este procedimento determina o “gatilho” que provocou o deslizamento e a partir deste valor é que as cicatrizes são comparadas com as áreas determinadas pelo modelo para verificação do seu desempenho. O desempenho do modelo também foi simulado utilizando-se diferentes espessuras de solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização do solo das unidades geotécnicas e de resistência ao cisalhamento, além dos resultados das modelagens com o SHALSTAB para diferentes profundidades de solo e a validação do modelo.

4.1 Resultados dos ensaios

Conforme os resultados dos ensaios apresentados na Tabela 3, a maioria dos solos contém maior quantidade de partículas finas (argila e silte), destacando-se os solos das unidades Cpi e Cf. As unidades Cgn e GHsqa, entretanto, possuem maior percentual de areia.

Os resultados dos limites de liquidez e plasticidade demonstraram que os solos das unidades Ca e Cf caracterizam-se por ser de baixa plasticidade e os solos das unidades Cc, Cpi e Cde de alta plasticidade. Cabe destacar ainda, que os solos das unidades Cgn e GHsqa foram classificados como não plásticos, isso se

deve a baixa porcentagem de finos. Em relação à atividade da argila, todos os solos foram classificados como inativos.

No ensaio de MCT, os solos das unidades Ca, Cf, Cgn e GHsqa apresentaram um caráter expansivo, enquanto que os solos das unidades Cc, Cpi e Cde foram classificados como não expansivos.

Por meio do ensaio de cisalhamento direto na condição inundada, observou-se que os parâmetros dos solos determinados estiveram dentro do esperado para um perfil típico de solo residual em um horizonte C em comparação aos dados de outros municípios de Santa Catarina (Tabela 2). Observou-se que o valor de coesão do solo da unidade Cf se apresentou abaixo da média dos outros solos ensaiados neste artigo. Apesar de possuir elevada quantidade de finos em sua composição, sobretudo silte, esse baixo valor pode estar relacionado ao caráter expansivo de solos originados do folhelho, conforme se pôde observar no ensaio de MCT.

Além disso, foi realizado nos solos residuais o ensaio de compressão confinada para estimar a permeabilidade dos solos (k), sendo a sua variação entre $4,3 \cdot 10^{-4}$ e $1,2 \cdot 10^{-5}$ cm/s.

4.2 Modelagem com o SHALSTAB

Para a aplicação do modelo, são necessários dados de entrada topográficos, hidrológicos e geotécnicos. Foram extraídas do MDE as informações topográficas e hidrológicas: declividade (θ) (Figura 5) e área de contribuição por unidade de contorno (a/b) (Figura 6), respectivamente.

Analisando a Figura 5 verifica-se que a maior parte da microbacia (89%) apresenta declividades inferiores a 30° . Entretanto, identificam-se algumas áreas (totalizando 0,4%) localizadas, principalmente, no Morro Baú, onde as declividades são superiores a 45° .

Com relação às unidades geotécnicas, percebe-se que as unidades Ca, Cc, Cf, Cgn e Cpi apresentam-se localizadas predominantemente em áreas de declividades que correspondem à faixa de 10 a 30° . As unidades Cde e GHsqa, por sua vez, apresentam predominância de declividades de até 10° , ou seja, são características de um relevo mais suave. Em contrapartida, nas

Tabela 2: Valores de intertcepto coesivo e ângulo de atrito dos solos de Santa Catarina

Mun. / Autor	Tipo de solo	Intecep. Coesivo (kPa)	Âng. atrito (°)
Gaspar ¹	Horiz. C arenito	11,5	28,4
	Horiz. C gnaisse	13,9	21,9
	Horiz. C granito	2,7	22,9
	Horiz. C siltito	10,6	34,7
Ilhota ²	Horiz. C milonito	10,3	24,2
	Horiz. C granito	15,8	29,7
São José ⁴	Horiz. C granito	15,9	24,3
	Horiz. C gnaisse, migmatito	9,7	29,0
	Horiz. C depósito de encosta	17,1	31,5
	Horiz. C depósito de encosta	13,4	30,2
	Horiz. C granito	5,31	33,9
Antônio Carlos ⁵	Horiz. C gnaisse	12,83	31,4
	Horiz. C migmatito	11,4	31,5
Balneário	Horiz. C xisto	4,8	24,5
	Horiz. C granito	4,0	34,7
	Horiz. C granito	2,1	36,7
	Horiz. C granito	6,3	31,8
	Horiz. C depósito de encosta	5,0	33,6
	Horiz. C granito	11,1	27,5
	Horiz. C granito	9,1	25,6
	Horiz. C migmatito	8,6	31,8
	Horiz. C xisto	6,0	37,7
	Horiz. C arenito	14,8	26,2
Alfredo Wagner ⁸	Horiz. C diamectito	7,3	33,4
	Horiz. C folhelho	2,5	34,3
	Horiz. C depósito de encosta	17,3	27,9
	Horiz. C granito	15,9	30,9
Santo Amaro da	Horiz. C granito	4,2	30,4
	Horiz. C granito	6,0	35,4
	Horiz. C granito	3,0	32,0
	Horiz. C granito	2,0	37,3
	Horiz. C granito	14,0	34,4
	Horiz. C granito	12,0	34,4
	Horiz. C granito	0,0	40,1
	Horiz. C granito	7,0	43,3
	Horiz. C granito	4,0	37,3
	Horiz. C granito	6,0	35,2
	Horiz. C granito	11,0	31,4
Tubarão ¹¹	Horiz. C dep. de encosta	3,6	32,1
	Horiz. C granito	13,0	38,7
	Horiz. C granito	0,0	41,3
	Horiz. C granito	1,4	31,5
	Horiz. C granito	10,9	31,6
	Horiz. C granito	7,3	33,7

Nota: ^{1,2,3,4,5,6,7,8} Flores *et al.* (2015)/ ⁹Meirelles; Davison Dias (2004)/ ¹⁰Beviláqua (2004)/ ¹¹Higashi (2006).

unidades Ra e Rc as declividades ultrapassam os 45° em 63% e 48% de suas áreas, respectivamente, e alcançam nos locais mais íngremes ângulos próximos a 90°.

O mapa da área de contribuição determina para cada *pixel* a área drenada a montante (Figura 6). O mapa incorpora ao modelo a influência das porções côncavas do relevo nos caminhos em que a água percorre, os quais são identificados como locais potenciais de saturação e, logo, de maior propensão à ocorrência de deslizamentos. Também ficou evidenciado que os locais com a maior área de contribuição correspondem ao canal principal da microbacia e seus afluentes.

Além dos referidos mapas, foram utilizados no cálculo do modelo os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos onde ocorreram deslizamentos, intercepto coesivo e ângulo de atrito efetivos (c' e ϕ'), e seus pesos específicos saturados (γ_{sat}) obtidos por meio do ensaio de cisalhamento direto (Tabela 3).

A espessura do solo analisada também é um parâmetro de entrada, e, levando em consideração que o modelo foi desenvolvido para profundidades de solos rasos, foi escolhida a profundidade de 2m para a análise mais detalhada da suscetibilidade a ocorrência de deslizamentos translacionais rasos e validação do modelo.

O mapa resultante dessa simulação está apresentado na Figura 7, identificado em função das sete classes de estabilidade definidas pelo SHALSTAB e com a sobreposição dos polígonos das cicatrizes dos deslizamentos.

Para esta simulação, foi calculada a área de cada classe e contabilizado o número de cicatrizes de deslizamentos que ocorreram em cada classe do SHASTAB. Foi também dividido o número de cicatrizes pela área da classe na microbacia do Ribeirão Baú, conforme pode ser observado na Tabela 4.

Nesta simulação, 72,9% da área da microbacia foi considerada incondicionalmente estável, porém contendo 10,2% das cicatrizes mapeadas, enquanto que 2,6% foi considerada incondicionalmente instável, contendo 28,3% de cicatrizes mapeadas.

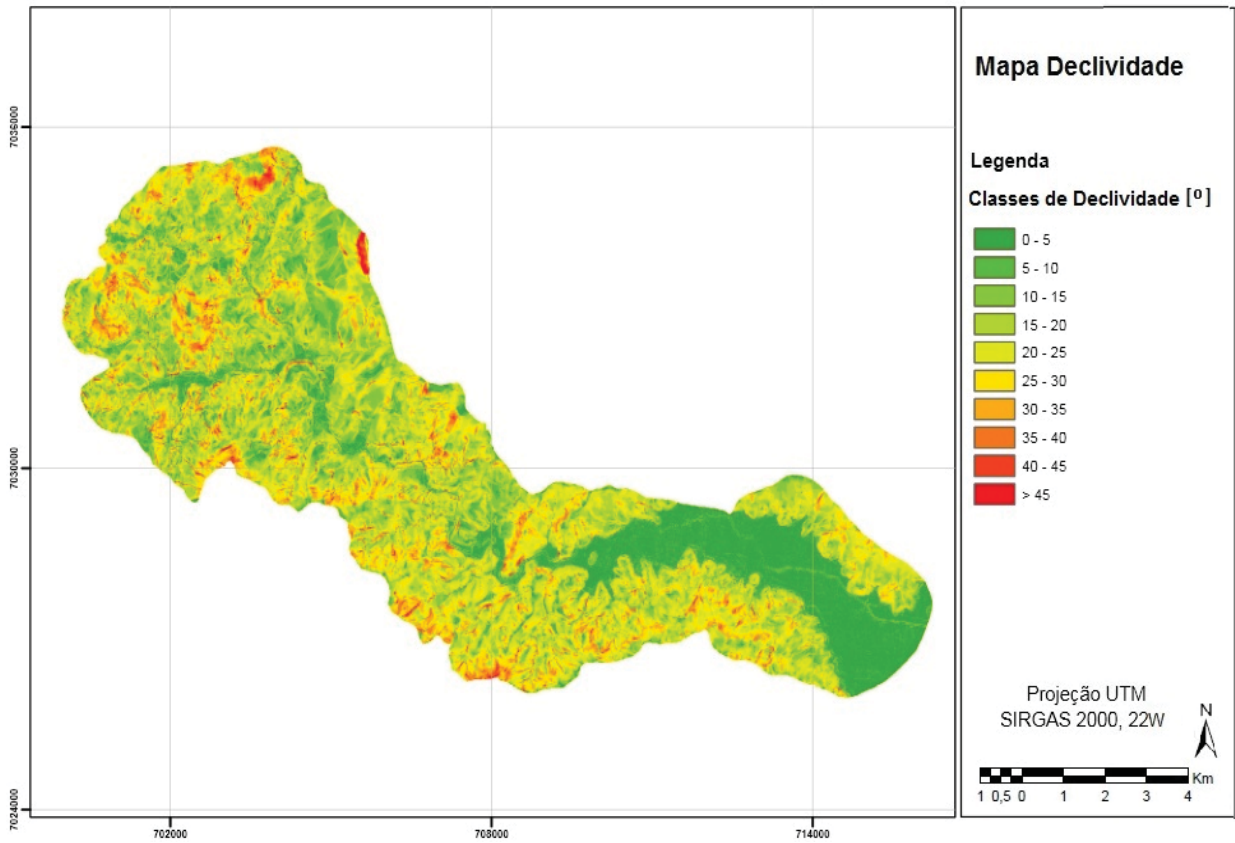


Fig. 5 - Mapa de declividade.

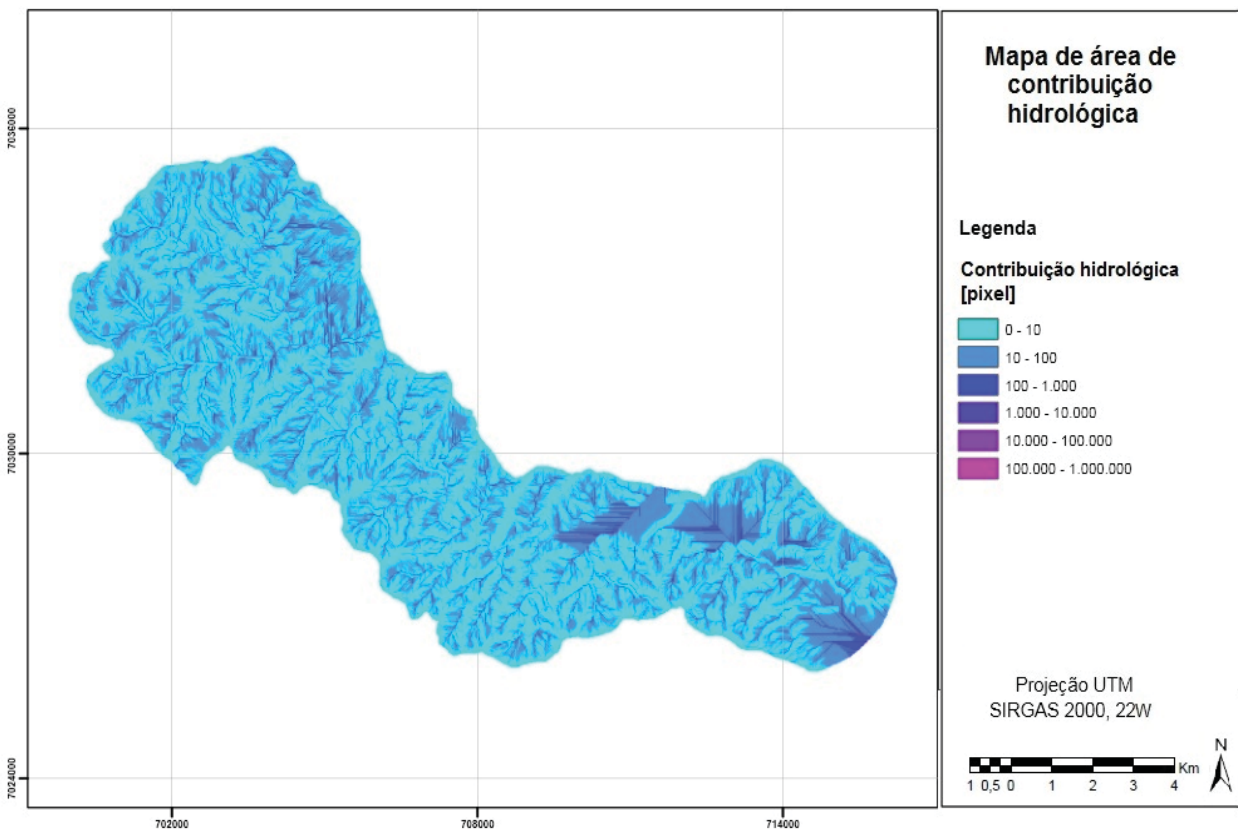









Fig. 6 - Mapa de área de contribuição hidrológica.

Tabela 3: Resultados dos ensaios geotécnicos

Ensaio geotécnicos	Unidades Geotécnicas							
	Ca 5YR 4/6	Cc 10YR 7/4	Cf 2.5YR 5/3	Cgn 7.5YR7/4	Cpi 2.5YR 3/6	Cde 5YR 6/8	GHsqa 10YR 3/4	
Cor (MUNSELL, 1971)								
Granulometria	Argila	23,6	33,4	12,2	5,9	52,7	34,0	8,6
	Silte	29,0	22,9	49,7	16,8	25,2	20,2	24,7
[%]	A.F.	22,8	27,4	36,3	23,4	10,1	19,3	49,4
	A.M.	23,9	11,2	1,7	21,9	6,8	9,1	14,4
	A.G.	0,7	4,5	0,1	22,6	3,4	8,7	2,7
	Pedr.	0,0	0,6	0,0	9,4	1,8	8,7	0,2
Teor de umidade natural		23,3	33,8	25,9	18,3	46,2	50,4	31,1
[%]								
Massa específica δ		2,76	2,76	2,70	2,87	3,02	3,21	2,70
Limites de consistência	W_L [%]	41	52	35	NL	72	50	NL
	W_P [%]	30	32	26	NP	60	46	NP
	IP [%]	11	20	9	NP	12	4	NP
Classificação IP x LL	med. plástico		alt. plástico	med. plástico	-	med. plástico	pouco plástico	-
Característica MCT	expansivo		não expansivo	expansivo	expansivo	não expansivo	não expansivo	expansivo
Classificação MCT	NA'-NS'		LG'	NS'-NA'	NA-NS'	LG'	LG'	NA
Classificação diagrama triangular	Areia siltica		Areia argilosa	Silte arenoso	Areia ou arenito	Argila siltica	Areia argilosa	Areia siltica
Classificação AASHTO	Solo argiloso		Areias siltosas ou argilosas	Solo siltoso	Areia fina	Solo argiloso	Areias siltosas ou argilosas	Areia fina
Classificação SUCS	ML		SC	ML	SF	MH	SC	SF
Atividade da Argila	0,47		0,60	0,74	-	0,23	0,12	-
Classificação Ativ. Argila	inativa		inativa	inativa	-	inativa	inativa	-
Índice de vazios e	0,96		1,20	1,03	0,97	2,04	0,85	2,29
Permeabilidade k [cm/s]	$4,3 \cdot 10^{-4}$		$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$
Intercep. Coesivo c' [kPa]	8,42		5,24	2,94	6,95	12,96	21,28	-
Ângulo de atrito ϕ' [graus]	26,5		29,2	25,3	31,8	15,8	38,9	-
Peso esp. nat. γ_{nat} [kN/m ³]	17,4		16,8	16,8	17,3	14,6	18,7	15,4

Nota: LL - limite de liquidez; LP - limite de plasticidade; IP - índice de plasticidade; NL - não líquido; NP - não plástico; NA - areias siltosas e areias argilosas não-lateríticas; NS - siltes caulínícos e micáceos, siltes arenosos e siltes argilosos; LG - argilas lateríticas; ML - areia fina, siltosa ou argilosa; SC - areia argilosa; SF - areias siltosas, misturas mal graduadas de areia e silte; MH - siltoso inorgânico; c' - Coesão efetiva e ϕ' - Ângulo de atrito efetivo (Cisalhamento Direto).

Quando calculado o número de cicatrizes pela área de cada classe do SHALSTAB, percebe-se que, proporcionalmente, o número de cicatrizes em áreas instáveis é bem mais elevado do que em áreas estáveis. Na classe incondicionalmente instável ocorreram 58 cicatrizes por km², enquanto que na classe incondicionalmente estável apenas 1 cicatriz por km². Nas demais classes instáveis também ocorrem um maior número de deslizamentos por área nas áreas instáveis em relação a classe estável.

Como análise complementar, foram gerados outros cenários com o SHALSTAB variando a espessura do solo com base no artigo

de Ho *et al.* (2012), que analisaram os resultados de suscetibilidade variando a espessura do solo de 0,4 a 2m. Para o Morro do Baú, foram realizadas sete simulações com as profundidades (z) de 2, 3, 5, 7, 10, 12 e 15 metros. A Tabela 5 apresenta os resultados para os cenários gerados pelo SHALSTAB.

Percebe-se que há diferença na área ocupada na microbacia por cada classe para a profundidade de solo até 2m (Tabela 4). A partir dessa profundidade, a porcentagem de cada classe do SHALSTAB tende a apresentar valores com pequena variação entre os cenários, principalmente, após 10m de solo.

Além disso, de acordo com a Tabela 5, na

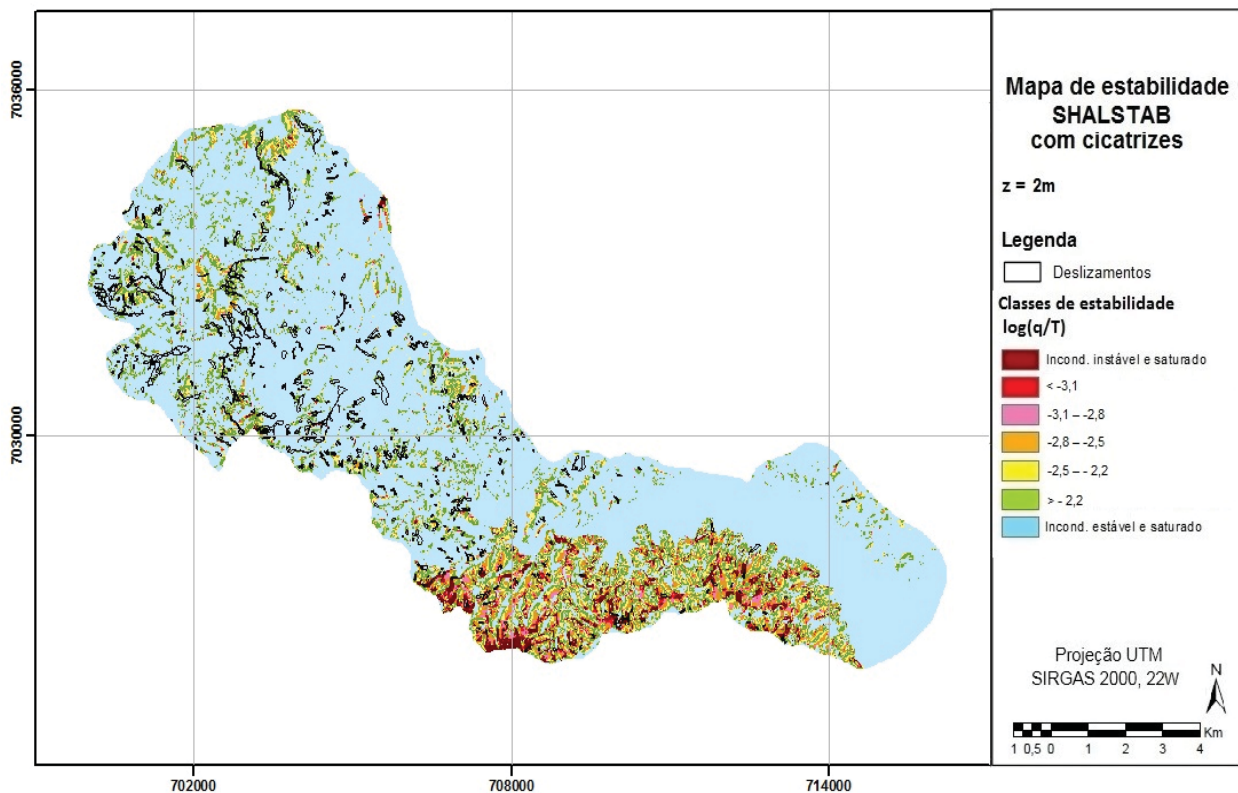


Fig. 7 - Mapa com as classes de estabilidade do SHALSTAB para a profundidade de solo de 2m.

Tabela 4: Análise do número de cicatrizes de deslizamentos para cada classe do SHALSTAB para z=2m

Classe de estabilidade SHALSTAB	Área na microbacia [%]	Área Acumulada [%]	Nº de cicatrizes	Nº cic. [%]	Nº cic. Acumulado [%]	Nº de cic./área
Incond. Instável	2,6	2,6	149	28,3	28,3	58
< -3,1	1,1	3,7	194	36,8	65,1	175
-3,1 - -2,8	1,5	5,2	42	8,0	73,1	27
-2,8 - -2,5	3,6	8,8	31	5,9	79,0	9
-2,5 - -2,2	5,2	14,0	26	4,9	83,9	5
> -2,2	13,2	27,2	31	5,9	89,8	2
Incond. Estável	72,9	100,0	54	10,2	100,0	1
<i>Microb. Ribeirão Baú</i>	<i>100,0</i>	-	<i>527</i>	<i>100,0</i>	-	<i>8</i>

simulação da profundidade de solo de 3m, quase 60% da área da microbacia foram consideradas incondicionalmente estáveis. Diminuindo consideravelmente, para em torno de 35%, nas simulações com profundidades a partir de 10m.

Essas tendências no comportamento da estabilidade são similares aos resultados de Silva *et al.* (2012) que fizeram simulações com o SHALSTAB para as profundidades de solo de 2, 5, 10 e 15m na bacia hidrográfica do Ribeirão Braço do Baú, localizada em Ilhota/SC. Porém os valores das porcentagens são diferentes, porque a resolução de 10m do MDE influencia no resultado do modelo (Gomes *et*

al., 2005), além disso a área de estudo não é a mesma apesar de ser adjacente.

Quanto ao número de cicatrizes, observa-se que, para todos os cenários analisados a grande parte dos deslizamentos localizou-se na classe classificada como incondicionalmente instável, variando de 51% para a profundidade de 3m para 82,4% para as profundidades a partir de 15 metros. E, quanto maior a profundidade do solo, maior o número de cicatrizes localizadas nas áreas designadas como instáveis pelo modelo SHALSTAB.

Entretanto, a eficácia do modelo está relacionada, além da capacidade de classificar

os locais de ocorrência de deslizamentos como instáveis, designar uma pequena quantidade de áreas instáveis dentro da microbacia, onde

está localizada a maior parte dos deslizamentos do tipo translacional raso (DIETRICH *et al.*, 2001).

Tabela 5: Cenários gerados para diferentes profundidades de solo

Classe de estabilidade SHALSTAB	z = 3m					z = 5m					z = 7m				
	Área [%]	Área Ac.	Nº cic.	Cic. [%]	Cic. Ac.	Área [%]	Área Ac.	Nº cic.	Cic. [%]	Cic. Ac.	Área [%]	Área Ac.	Nº cic.	Cic. [%]	Cic. Ac.
Incond. Instável	4,5	4,5	270	51,2	51,2	7,8	7,8	365	69,3	69,3	9,9	9,9	402	76,3	76,3
< -3,1	2,5	7,0	135	25,6	76,9	4,2	12,0	88	16,7	86,0	5,3	15,2	66	12,5	88,8
-3,1 - -2,8	3,3	10,3	33	6,3	83,2	5,4	17,4	23	4,4	90,3	6,4	21,6	18	3,4	92,2
-2,8 - -2,5	7,1	17,4	24	4,6	87,8	9,9	27,3	18	3,4	93,7	10,8	32,4	13	2,5	94,7
-2,5 - -2,2	9,7	27,1	20	3,8	91,6	11,6	38,9	13	2,5	96,2	11,8	44,2	11	2,1	96,8
> -2,2	15,3	42,4	25	4,7	96,3	16,3	55,3	11	2,1	98,3	16,0	60,2	9	1,7	98,5
Incond. Estável	57,7	100,0	20	3,8	100,0	44,7	100,0	9	1,7	100,0	39,8	100,0	8	1,5	100,0

Classe de estabilidade SHALSTAB	z = 10m					z = 12m					z = 15m				
	Área [%]	Área Ac.	Nº cic.	Cic. [%]	Cic. Ac.	Área [%]	Área Ac.	Nº cic.	Cic. [%]	Cic. Ac.	Área [%]	Área Ac.	Nº cic.	Cic. [%]	Cic. Ac.
Incond. Instável	11,9	11,9	423	80,3	80,3	12,7	12,7	431	81,8	81,8	13,5	13,5	434	82,4	82,4
< -3,1	6,1	18,0	58	11,0	91,3	6,5	19,2	54	10,2	92,0	6,8	20,4	54	10,2	92,6
-3,1 - -2,8	7,0	25,0	18	3,4	94,7	7,3	26,5	15	2,8	94,9	7,4	27,8	13	2,5	95,1
-2,8 - -2,5	11,2	36,2	7	1,3	96,0	11,3	37,8	9	1,7	96,6	11,4	39,2	8	1,5	96,6
-2,5 - -2,2	11,7	48,0	9	1,7	97,7	11,7	49,5	8	1,5	98,1	11,6	50,8	10	1,9	98,5
> -2,2	15,6	63,6	8	1,5	99,2	15,4	64,8	7	1,3	99,4	15,2	66,0	6	1,1	99,6
Incond. Estável	36,4	100,0	4	0,8	100,0	35,2	100,0	3	0,6	100,0	34,1	100,0	2	0,4	100,0

Neste sentido, Remondo *et al.* (2003) classificam um modelo como altamente satisfatório quando 90% dos deslizamentos localizam-se em até 5% da área, e com pouca precisão quando os 30% da área mais suscetíveis apresentam 40% dos deslizamentos.

Sendo assim, a simulação feita com a profundidade de 2m, apresenta o melhor resultado, que com apenas 5% dos dados estão 73,1% das cicatrizes. Entretanto, a profundidade de 3m apresenta um acerto de apenas 51,2% para 4,5% da área da microbacia, e a profundidade de 5m, apresenta um acerto de 69,3% em 7,8% da área. As demais profundidades seguem esta tendência.

Para corroborar com essa afirmativa, foi construído um gráfico com as curvas de validação para cada profundidade a partir dos

dados das porcentagens de cicatrizes acumuladas em relação à área acumulada de cada classe do modelo (Figura 8). De acordo com Remondo *et al.* (2003), a partir da curva pode-se analisar quão bem o modelo se ajusta aos dados (cicatrizes). Uma curva de validação coincidindo com uma diagonal de 0 a 100% seria equivalente a uma predição totalmente aleatória. Quanto mais para cima e longe da curva de validação a partir dessa diagonal, melhor o valor preditivo do modelo. Do mesmo modo que, quanto maior o gradiente na primeira parte da curva, maior será a sua capacidade de previsão.

Desta forma, a simulação feita para 2m de profundidade é a que apresenta o maior gradiente e a maior distância da diagonal tendo, portanto, a melhor curva de validação entre as simulações realizadas.

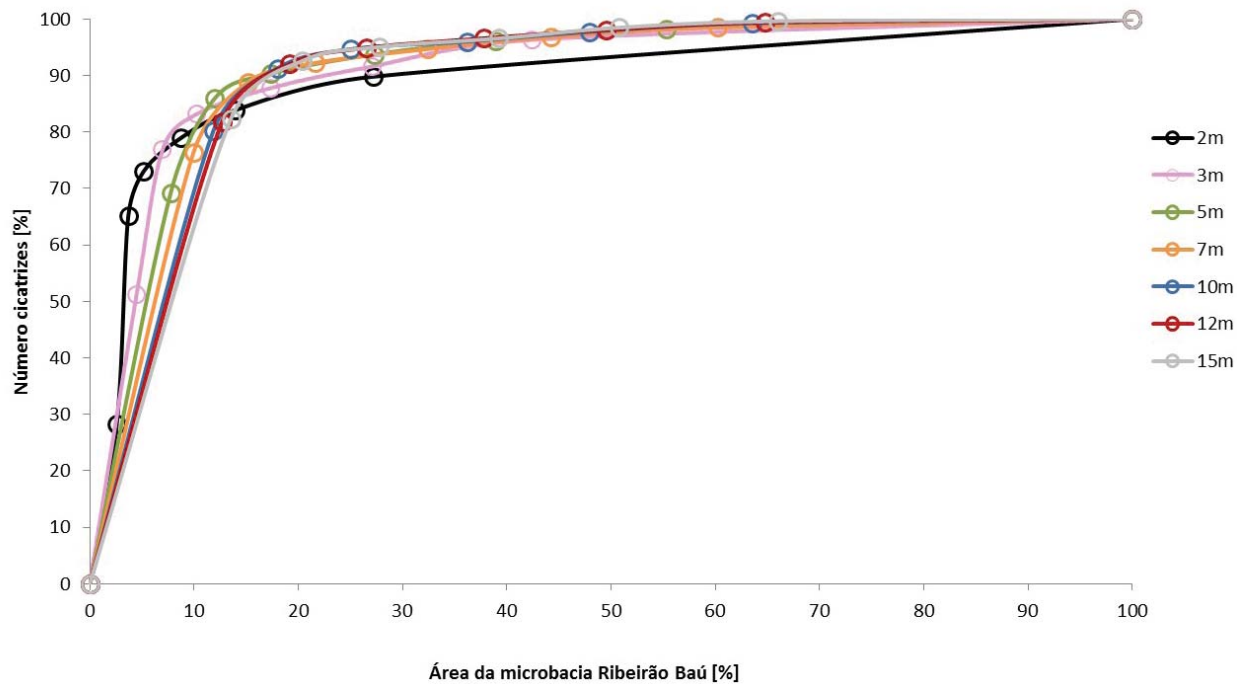


Fig. 8 - Curvas de validação para diferentes profundidades de solo.

5. CONCLUSÕES

Realizou-se neste trabalho o mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos translacionais rasos utilizando o modelo matemático SHALSTAB, e a validação do resultado com as cicatrizes dos deslizamentos ocorridos em novembro de 2008 na microbacia do Ribeirão Baú.

A obtenção dos parâmetros de propriedades dos solos para cada classe geotécnica contribuiu para aproximar o modelo da realidade, em que os diferentes valores obtidos foram inseridos nas simulações realizadas.

Dentre as possibilidades de simulações realizadas pelo SHALSTAB, foi determinada, a profundidade de 2m para a análise detalhada. Nesta simulação, 28,3% dos deslizamentos foram identificados na classe instável do modelo. Além disso, quando analisado o número de cicatrizes pela área de cada classe, percebeu-se que, proporcionalmente, o número de cicatrizes em áreas instáveis é bem mais elevado do que em áreas estáveis.

Ainda, como análise complementar, foram gerados outros seis cenários com o modelo variando a espessura do solo, com as profundidades (z) de 3, 5, 7, 10, 12 e 15 metros. Observou-se que, para todos os cenários, a grande parte dos deslizamentos localizou-se na classe classificada

como incondicionalmente instável, e que, quanto maior a profundidade do solo, maior o número de cicatrizes localizadas nas áreas designadas como instáveis pelo SHALSTAB.

Para a validação do modelo consideramos a relação entre a proporção de área que o modelo considerou instável e a proporção de cicatrizes inseridas nestas áreas. Dentre as simulações realizadas, a que utiliza a profundidade de 2 metros possui o maior número de acerto (73,1%) quando analisado apenas 5% das áreas consideradas instáveis. E na curva de validação é a que apresenta o maior gradiente e a maior distância da diagonal de predição aleatória.

Desta forma, o aumento da profundidade do solo, aumenta o número de cicatrizes nas classes instáveis, pela razão de aumentar consideravelmente o tamanho destas classes, porém, possuem desempenho pior.

A aplicação do modelo SHALSTAB na análise da previsão de deslizamentos translacionais rasos é uma ferramenta relevante na prevenção de desastres naturais, gerando subsídios para o entendimento dos mecanismos e dos fatores condicionantes desses fenômenos. Esta ferramenta possibilita ainda, auxiliar no planejamento do uso e ocupação do solo, o que contribui para a mitigação dos possíveis danos humanos e econômicos que normalmente os movimentos de massa causam à sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEVILÁQUA, F. Z. **Estudo do Comportamento Geomecânico dos Solos Residuais de Granito de Florianópolis**. 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- CEPED UFSC. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres - Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012: Volume Brasil**. 2.ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 126 p.: il. color.; 22 cm.
- DEFESA CIVIL DE SANTA CATARINA. **Relatório de 31 dez.** 2008. Disponível em <<http://www.desastre.sc.gov.br>>. Acesso: 15 setembro 2015.
- DIAS, R. D. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. **Revista do Instituto Geológico**: v.16, p.51-55, 1995.
- DIETRICH, W. E.; BELLUGI, D.; ASUA, R. R. Validation of the Shallow Landslide Model, SHALSTAB, for Forest Management. Land Use and Watersheds: Human Influence on Hydrology and Geomorphology in Urban and Forest Areas. **Water Science and Application**, v.2., p.195-227, 2001.
- DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. SHALSTAB: A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potential. **National Council for Air and Stream Improvement**. 1998. 26p.
- ÉGAS, H. M. **Análise dos movimentos de massa na microbacia do Ribeirão do Baú, Ilhota, SC, com base em critérios da geomorfologia e geologia**. 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2011.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.
- FLORES, J. A. A. (Coord.); PELLERIN, J. R.; ABREU, J. J.; TOMAZZOLI, E. R.; HIGASHI, R. A. R.; SILVA, E.; GRÉ, J. C. R.; ESPÍNDOLA, M.; CHAFFE, P. L. B.; GOERL, R. F.; PEREIRA, E. M.; DESTRO, J. N. **Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais em municípios do Estado de Santa Catarina e do Paraná**. Relatório Técnico. Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina. Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos - Ministério das Cidades. Florianópolis: UFSC, 2015. 207p.
- FRANK, B.; SEVEGNANI, L. **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí – água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009. 192p.
- GODOY, H. **Identificação e classificação geotécnica de latossolos do Estado de São Paulo pelo método das pastilhas MCT**. 1997. 132 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- GOETZ, J. N.; GUTHRIE, R. H.; BRENNING A. Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models. **Geomorphology**, v.129, n.3, p.376–386, 2011.
- GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; FERNANDES, N. F. Análise de um modelo de previsão de deslizamentos (Shalstab) em diferentes escalas cartográficas. **Solos e Rochas**, v.28, n.1, p.85-97, 2005.
- HIGASHI, R. A. R. **Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental**. 2006. 486 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2006.
- HO, J. Y.; TUN LEE, K.; CHANG, T. C.; WANG, Z. Y.; LIAO, Y. H. Influences of spatial distribution of soil thickness on shallow landslide prediction. **Engineering Geology**, v. 124, p. 38-46, 2012.
- KAUL, P. F. T.; FERNANDES, E.; SANTOS NETO, A. **Projeto Gerenciamento Costeiro GERCO - 3º Fase: Geologia**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2003. 63p.
- KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R. V.; SCHRÖDER, P. H.; GRANDO, A.;

- REGINATTO, G. M. P. Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. In: I Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. **Anais...** Florianópolis, SC, 2004, p.834-846.
- LARSEN, M. C.; TORRES-SANCHEZ, A. J. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. **Geomorphology**, v.24, n.4, p.309-331, 1998.
- MARINHO, R. R.; PARADELLA, W. R.; RENNÓ, C. D.; OLIVEIRA, C. G. Aplicação de imagens SAR orbitais em desastres naturais: mapeamento das inundações de 2008 no Vale do Itajaí, SC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.64, n.3, p. 317-330, 2012.
- MEIRELLES, M. C.; DAVISON DIAS, R. Estudo da Erodibilidade de Solos Residuais do Complexo Granito-Gnaissico – Município de Santo Amaro da Imperatriz, SC. In: 5º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados. **Anais...** São Carlos, SP, 2004, v.1, p.465-470.
- MICHEL, G. P. **Modelagem de estabilidade de encostas com consideração do efeito da vegetação**. 2013. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.
- MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W.E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resource Research**, v.30, n.4, p.1153-1171, 1994.
- MONTGOMERY, D. R. Road surface drainage, channel initiation, and slope stability. **Water Resource Research**, v.30, n.6, p.1925-1932, 1994.
- MUNSELL, A. H. **Soil Color Charts**. Baltimore: Munsell Color Company, 1971. 34p.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Identificação expedita dos grupos de classificação MCT para solos tropicais. In: 10º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. **Anais...** Foz do Iguacu, PR, 1994, v.4, p.293-1300.
- PARDESHI, S. D.; AUTADE, S. E.; PARDESHI, S. S. Landslide hazard assessment: recent trends and techniques. **Springerplus**, v.2, n.523, p.1-11, 2013.
- REMONDO, J.; GONZÁLEZ, A.; TERÁN, J. R. D.; CENDRERO, A.; FABBRI, A.; CHUNG, C. F. Validation of Landslide Susceptibility Maps; Examples and Applications from a Case Study in Northern Spain. **Natural Hazards**, v.30, n.3, p.437-449, 2003.
- SHIMIZU, S. H.; VIEIRA, P. C.; MOSER, J. M. **Projeto Gerenciamento Costeiro GERCO - 3º Fase: Pedologia**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2003. 705p.
- SILVA, L.; BRAGA, B.; ARAÚJO, J.; FERNANDES, N. Simulação matemática aplicada à identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos translacionais rasos no Morro do Baú – Santa Catarina. In: IX Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ, 2012, p.661-665.
- SOCIEDADE AMERICANA PARA MATERIAIS E TESTES. **ASTM D3080: Standard Test Method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions**. 2004. 9p.
- TOMAZZOLI, E. R.; FLORES, J. A. A.; BAUZYS, F. Movimentos de massa ocorridos no evento de novembro de 2008, no entorno do Morro do Baú, Vale do Itajaí (SC): caracterização geológico-geomorfológica. In: 5º Conferência Nacional de Estabilidade de Encostas. **Anais...** São Paulo, SP, 2009, p.1-10.
- TOMAZZOLI, E. R.; PARIZOTO, D. G. V.; ABREU, J.; PELLERIN, J. R. G. M. **Análise e mapeamento das áreas de risco a movimentos de massa e inundações nos municípios de Gaspar, Ilhota e Luiz Alves (Complexo do Morro do Baú), SC**. FAPESC - Convênio 16319/2010-8. UFSC, Florianópolis, 2012. 207p.