

## **MODELO SHALSTAB APLICADO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: ANÁLISES EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE OCUPAÇÃO URBANA**

*SHALSTAB MODEL APPLIED IN WATERSHEDS: ANALYSES IN DIFFERENT URBAN  
OCCUPATION CONDITIONS*

**Diogo ZIMMERMANN, Rafael Augusto dos Reis HIGASHI**

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Rua: João Pio Duarte da Silva, 205. Bairro Córrego Grande. Florianópolis – SC. E-mails: engenheiro.diogomarcelo@gmail.com; rrhigashi@gmail.com

Introdução  
Materiais e método  
Caracterização da área de estudo  
Análise e discussão dos resultados  
Conclusão  
Agradecimentos  
Referências

**RESUMO** - Desde os períodos mais remotos da história da humanidade, os homens procuram aglomerar sua ocupação em áreas próximas a grandes corpos hídricos. Contudo, tal herança histórica/cultural resulta em ocupações que podem expor as pessoas a movimentos naturais do relevo contidos na abrangência das bacias hidrográficas, portanto, é de extrema importância mapear os locais mais suscetíveis aos deslizamentos para ordenar a ocupação urbana e/ou dimensionar os riscos associados a cada ocupação. Para tal análise existem diversas ferramentas que permitem reconhecer a suscetibilidade a deslizamentos, no entanto cada qual apresenta vantagens e limitações de aplicação. O presente trabalho tem como objetivo comparar o mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais através do modelo SHALSTAB em áreas que apresentam baixa e elevada ocupação urbana. A comparação foi realizada através de um estudo de caso do mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais nas bacias hidrográficas do Rio Cachoeira e do Rio da Prata, localizadas no município de Joinville/SC. Os resultados apontaram que o relevo e a ocupação urbana são aspectos de grande relevância atribuídas ao modelo SHALSTAB para ocorrência de deslizamentos e que as áreas com elevada urbanização não apresentaram bom desempenho na previsão dos eventos de deslizamentos, entretanto, o modelo SHALSTAB se mostrou útil na orientação e direcionamento das áreas de expansão urbana.

**Palavras-chave:** Modelo SHALSTAB. Deslizamento Translacional. Mapeamento Geotécnico.

**ABSTRACT** - From the earliest periods of human history, men seek to cluster their occupation in areas close to large water bodies. However, such a historical / cultural heritage results in occupations that can expose people to the natural movements of relief contained in the coverage of the hydrographic basins, therefore, it is of extreme importance to map the most susceptible places to landslides to order the urban occupation and / or size the risks associated with each occupation. For this there are several tools that allow to recognize the susceptibility to landslides, however each one presents advantages and limitations for application. The present work aims to compare the mapping of susceptible areas to translational landslides through the SHALSTAB model in areas with low and high urban occupation. The comparison was made through a case study of the mapping of areas susceptible to translational landslides in the Cachoeira River and Prata River watersheds, located in the city of Joinville / SC. The results indicated that the relief and urban occupation are aspects of great importance attributed to the SHALSTAB model for landslides and that the areas with high urbanization did not present a good performance in the prediction of landslide events, however, the SHALSTAB model proved useful in the orientation and direction of the areas of urban expansion.

**Keywords:** Model SHALSTAB. Translational Sliding. Geotechnical Mapping.

### **INTRODUÇÃO**

O ligeiro processo de adensamento populacional e a inevitabilidade de expansão das áreas urbanas têm ocorrido na pluralidade das cidades brasileiras, sendo que estas vivenciam as consequências da deterioração do meio ambiente em função de atividades específicas e impróprias nelas desenvolvidas (Souza, 2015).

Recentemente, o número de pessoas vivendo em áreas de risco de deslizamentos, enchentes e inundações têm sido uma das características negativas do processo de urbanização e crescente das cidades brasileiras (IPT, 2007). Em diversos municípios brasileiros, o planejamento urbano não é julgado como uma das etapas iniciais para

futuras tomadas de decisão, ou quando considerado não é realizado de forma condizente, levando a ocorrência de diversos problemas que consequentemente afetam direta ou indiretamente o equilíbrio dinâmico da área, em curto, médio ou longo prazo (Rosemberg & Amaro, 2005).

Planejar o uso e ocupação do solo é uma das responsabilidades compartilhadas entre a Federação, Estados e a Gestão Municipal, sendo que, a partir da Constituição Federal de 1988, “a política de desenvolvimento urbana executada pelo Poder Público municipal, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções

sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes”.

Um dos instrumentos básicos da política de desenvolvimento urbano usado para o Planejamento e Gestão municipal é o Plano Diretor. A primeira etapa para a elaboração de um Plano Diretor inclui a realização de diagnóstico da situação atual, envolvendo a caracterização dos aspectos dos meios físico, biótico e antrópico que compõem o quadro local e regional.

Dentre a caracterização dos aspectos dos meios físicos, o mapeamento geotécnico e de suscetibilidade a deslizamentos são ferramentas que devem compor o quadro diagnóstico citado anteriormente (Abreu et al, 2006).

Os deslizamentos são fenômenos originados pela ação de forças exógenas e endógenas do planeta Terra, os quais, através dos tempos esculpem a sua superfície e podem causar prejuízos econômicos para órgãos público e/ou privados, além de expor diversas pessoas à risco de morte (Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT, 2007).

No Brasil, a frequente ocorrência de desastres levou a promulgação da Lei N° 12.608 em 10 de março de 2012 que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e estabelece diretrizes para reduzir tais fenômenos, envolvendo esforços da União, Estados e Municípios.

Tal lei, prioriza medidas preventivas para os desastres naturais, sendo esta a função do mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos, onde seu conhecimento é indispensável para a elaboração do mapeamento de aptidão urbana.

Em Santa Catarina há inúmeros registros de desastres naturais, dentre eles pode-se elencar o ocorrido em 2008 como sendo o de maior relevância. Segundo os dados oficiais da Defesa Civil, esta tragédia registrou aproximadamente 4 mil deslizamentos espalhados pelo estado, deixando 78 mil pessoas desabrigadas e ocasionando 135 mortes, além de 2 desaparecimentos provocados por deslizamentos e enchentes ocorridos neste estado.

No município de Joinville (área de estudos desta pesquisa) foram registradas mais de 800 ocorrências de deslizamentos no ano de 2008, porém nenhuma resultou em fatalidade (Odebrecht et al., 2017).

Este número preocupa e chama a atenção para

o devido reconhecimento das áreas suscetíveis a deslizamentos existentes no município.

Eventos como o de 2008, podem ter seus impactos (econômicos e à vida) minimizados quando conhecido os aspectos físicos da região, sendo que, os mapas de suscetibilidade a deslizamentos, podem contribuir de maneira significativa para tal, uma vez que ele identifica e classifica os graus de risco envolvidos no relevo.

O mapa de suscetibilidade é imprescindível para as atividades de planejamento rural e urbano.

Através deste, o espaço poderá ser explorado de acordo com os graus de suscetibilidade, proporcionando uma maior segurança à população na medida em que se conhecem as áreas instáveis aos movimentos gravitacionais de massa (Lima, 2013).

É evidente que mapear as áreas suscetíveis a deslizamentos não é uma tarefa fácil, porém, recentemente diversas metodologias para elaboração deste mapeamento estão em constante desenvolvimento, dentre estes, a proposta por Davison Dias em 1995 (para o mapeamento geotécnico), complementada por modelagem matemática, associada a um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), em bacias hidrográficas com usos múltiplos como SHALSTAB (Shallow Landsliding Stability Model) é a mais utilizada no sul do Brasil.

Com isso, entende-se que é necessário testar diferentes cenários para que se possa identificar as fragilidades do método e buscar ferramentas auxiliares para complementar tais fragilidades.

Baseando-se nesta problemática, buscou-se realizar uma análise em dois cenários que obtenham características opostas quanto ao uso e cobertura do solo, sendo a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (BHRC) o cenário com elevada urbanização e a Bacia Hidrográfica do Rio da Prata (BHRP) o cenário com baixo índice de urbanização.

Nestas análises os resultados apontaram que as áreas com elevada urbanização não apresentaram bom desempenho na previsão dos eventos de deslizamentos, entretanto, o modelo apresentou bons resultados nos locais em que ocorrem baixa influência das atividades humanas e se mostrou útil para auxiliar a orientação das áreas mais seguras para o desenvolvimento da expansão urbana.

## MATERIAIS E MÉTODO

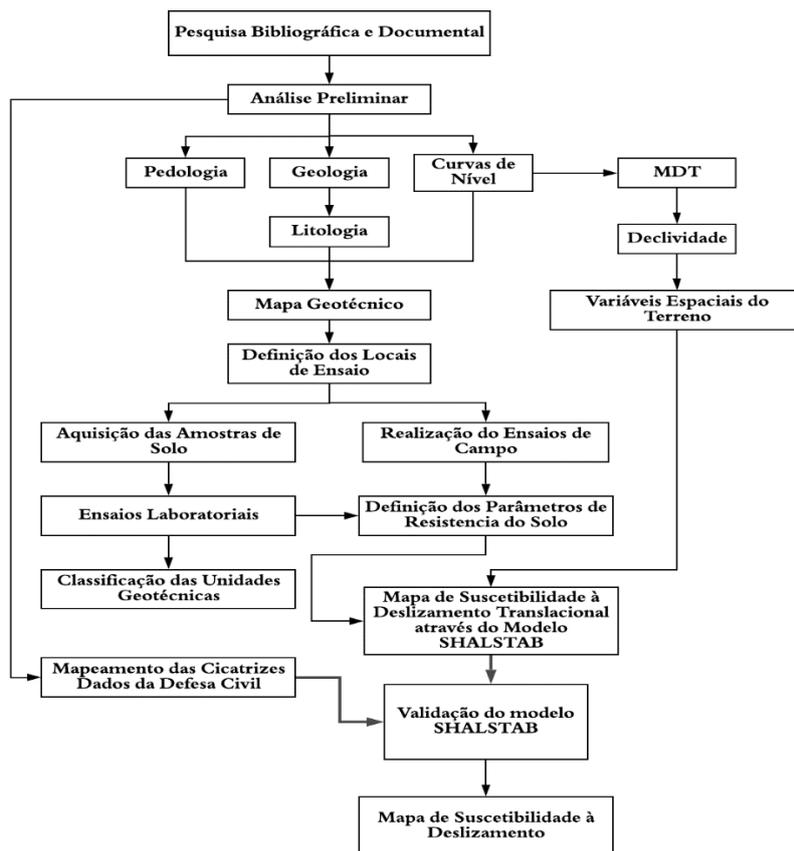
Esta pesquisa pode ser caracterizada quanto a sua natureza como sendo aplicada, foi

desenvolvida de forma exploratória e os procedimentos realizados estão apresentados

através do fluxograma ilustrado pela figura 1.

Tais procedimentos (expostos na Figura 1) foram aplicados nas duas áreas de estudo, sendo

elas a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (área com elevada urbanização) e a Bacia Hidrográfica do Rio da Prata (área com baixa urbanização).

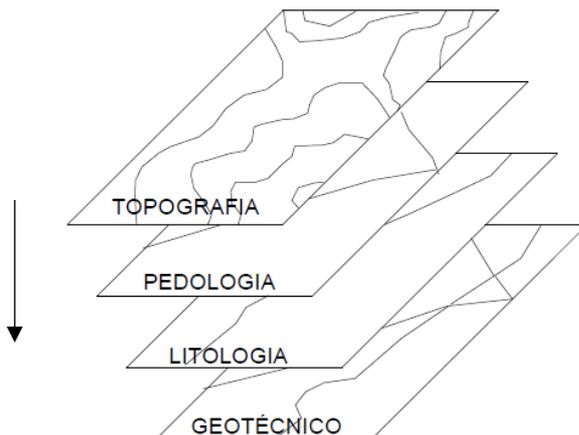


**Figura 1** – Fluxograma de Atividades Desenvolvidas neste Trabalho.

As bases cartográficas necessárias para elaboração deste trabalho (Pedologia, Litologia e Curvas de Níveis) foram adquiridas de forma gratuita no portal SimGeo disponibilizado pela Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão da Prefeitura Municipal de Joinville/SC. Estas bases apresentam como referência geodésica o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) com escala mínima de 1:5.000. A composição do mapa geotécnico seguiu a metodologia proposta por Davison Dias em 1995,

que doutrina a sobreposição da base cartográfica litológica, pedológica e topográfica (curvas de nível) com objetivo de conceber o mapa Geotécnico. Tal sobreposição foi realizada em ambiente SIG (ArcGis 10.3) e deu origem a polígonos de áreas que apresentam comportamento geomecânico similar, figura 2.

Através dos mapas geotécnicos foi-se definido os locais de realização dos ensaios de resistência e de caracterização dos solos, sendo que seus resultados estão apresentados na tabela 1.



**Figura 2** – Metodologia para Gerar Mapa Geotécnico.

**Tabela 1** – Condições para as Classes de Estabilidade.

Parâmetros dos Solos	RLgn	PVgn	CYsq	CXsq	CXgn
Coesão (kPa)	6,28	8,87	0,64	11,77	7,27
Ângulo de Atrito (°)	26,88	29,78	32,37	28,4	29,97
Peso Específico Nat (kN/m <sup>3</sup> )	15,25	14,85	17,26	14,61	17,83
Peso Específico Sat (kN/m <sup>3</sup> )	17,4	17,15	18,49	16,87	18,85
Densidade Real dos Grãos (g/cm <sup>3</sup> )	2,854	2,908	2,723	2,755	2,877
Umidade Natural	34%	36%	29%	35%	32%
Limite de Liquidez	57%	57%	40%	59%	54%
Limite de Plasticidade	47%	40%	28%	38%	30%
Índice de Plasticidade	10%	17%	12%	21%	24%

Na aplicação do modelo SHALSTAB é necessário que se defina (além dos parâmetros físicos do solo) a superfície de ruptura para cada unidade geotécnica. Neste trabalho foram investigadas profundidades que variaram entre 3 e 20 metros para todo o relevo, uma vez que, os solos da região são considerados profundos; e para validação e análise dos resultados dos deslizamentos translacionais, optou-se pela profundidade que apresentou os melhores resultados.

Cabe ressaltar que a utilização de profundidades superiores a 5m para o mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais vem sendo uma prática comum no sul do Brasil e para esta região vem apresentando bons resultados.

Para realizar o mapeamento de suscetibilidade a deslizamento translacional, aplicou-se o modelo matemático desenvolvido através da álgebra de mapas denominado modelo SHALSTAB em ambiente SIG elaborado por Dietrich e Montgomery (1998). Segundo Reginato (2013) “o SHALSTAB compõe um modelo eficiente na previsão e simulação de áreas suscetíveis a escorregamentos translacionais, incorporando em suas análises parâmetros topográficos, hidrológicos e propriedades do solo”.

Após a espacialização dos dados geotécnicos (mapa geotécnico), resolveu-se a equação do SHALSTAB através da ferramenta *Raster Calculation*, disponível no software ArcGis versão

10.3. Tal ferramenta foi modelada a partir de dois parâmetros hidrológicos  $q$  e  $T$ , conforme apresentado na Equação 1.

$$\text{Log} \frac{q}{T} = \frac{b}{a} \cdot \sin\theta \cdot \left\{ \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left( 1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi} \right) + \frac{c}{\cos^2\theta \cdot \tan\phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \right\} \quad (1)$$

onde:  $q$  é a intensidade da chuva (mm);  $T$  é transmissividade do solo (m<sup>2</sup>/dia),  $a$  é a área de contribuição ou área drenada a montante dada (m<sup>2</sup>),  $b$  é o comprimento de contorno unitário (resolução do grid dado em m),  $c$  é a coesão efetiva do solo (kpa),  $g$  é a aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>),  $z$  é espessura do solo (m),  $\rho_s$  é o peso específico do solo (kg/m<sup>3</sup>),  $\rho_w$  é o peso específico da água (kg/m<sup>3</sup>),  $\phi$  é o ângulo de atrito do solo dado em graus,  $\theta$  é a declividade medida em graus.

A resolução da Equação 1, deu origem a 7 classes de estabilidade (conforme apresentado na Tabela 2) as quais a área da BHRC e a BHRP foram classificadas.

A validação do modelo foi realizada através do cruzamento de informações geradas pelo mapa de suscetibilidade à deslizamentos translacionais com o histórico de ocorrência relacionadas a deslizamentos de terra registrados pela Defesa Civil de Joinville/SC (480 cicatrizes para a área de BHRC) e o mapeamento das cicatrizes através de análise multitemporal com uso da ferramenta Google Earth Pro e de imagens aerofotográficas, sendo identificadas 28 cicatrizes para BHRP (Figura 3).

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Em resumo se pode observar as características da BHRC e BHRP, através da figura 4, que expõe uma comparação entre as duas áreas de estudo abordadas por este trabalho.

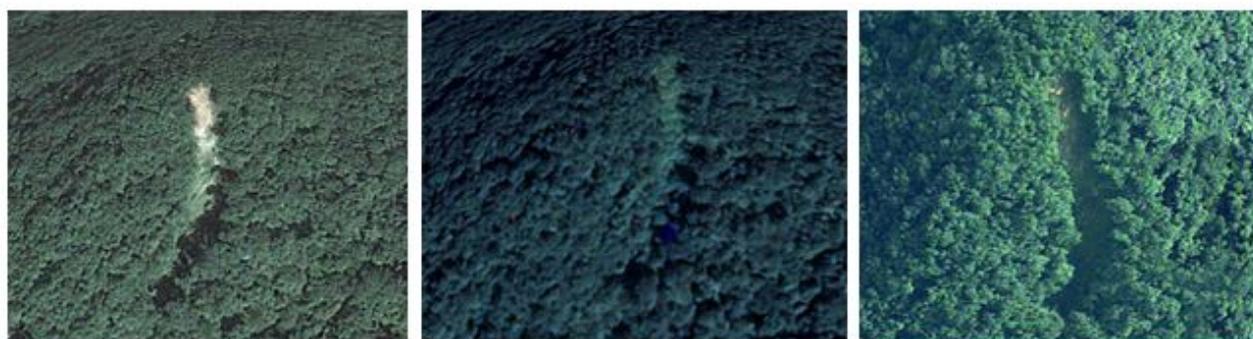
Por fim, verificou-se que a pedologia e a

litologia da BHRC e a da Bacia Hidrográfica do Rio da Prata - BHRP são consideradas similares, no entanto, estas bacias apresentam características diferentes quanto a caracterização do relevo, hidrografia e ocupação humana.

**Tabela 2**– Condições para as Classes de Estabilidade.

Classes de Estabilidade	Valores Log q/T
Incondicionalmente estável saturado	$\tan\theta \leq \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right); \frac{a}{b} > \left(\frac{T}{Q}\right) \cdot \sin\theta$
Incondicionalmente estável não saturado	$\tan\theta \leq \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right); \frac{a}{b} < \left(\frac{T}{Q}\right) \cdot \sin\theta$
Estável não saturado	$\frac{a}{b} \geq \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right); \frac{a}{b} > \left(\frac{T}{Q}\right) \cdot \sin\theta; \tan\phi > \tan\theta^3 \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right)$
Instável, não saturado	$\frac{a}{b} \geq \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right); \frac{a}{b} < \left(\frac{T}{Q}\right) \cdot \sin\theta; \tan\phi > \tan\theta^3 \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right)$
Instável saturado	$\frac{a}{b} < \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right); \frac{a}{b} < \left(\frac{T}{Q}\right) \cdot \sin\theta; \tan\phi > \tan\theta^3 \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right)$
Incondicionalmente instável não saturado	$\tan\theta > \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right); \frac{a}{b} > \left(\frac{T}{Q}\right) \cdot \sin\theta$
Incondicionalmente instável saturado	$\tan\theta > \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right); \frac{a}{b} < \left(\frac{T}{Q}\right) \cdot \sin\theta$

Fonte: (Dietrich; Montgomery, 1998) apud (Caraméz, 2017).



a) Fonte: Google Earth 2010

b) Fonte: Google Earth 2016

(c) Fonte: Aeroimagem, 2010

**Figura 3** – Metodologia para Mapeamento das Cicatrizes.

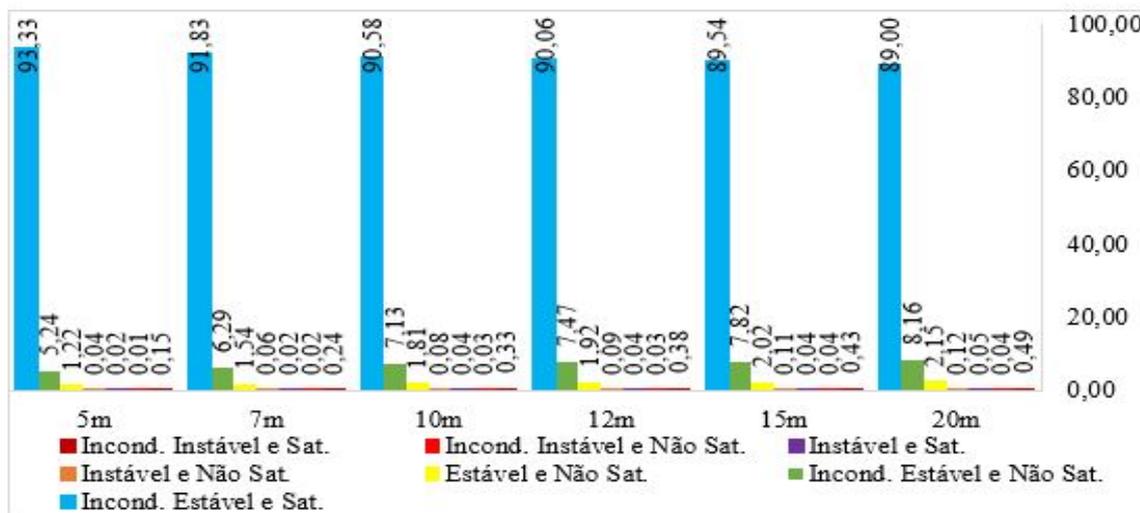
Litologia	BHRC		BHRP	
	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%
Gnaise	52,84	63,82	4,18	15,74
Sedimentos do Quaternário	29,96	36,18	22,37	84,26
<b>Total</b>	<b>82,798</b>	<b>100</b>	<b>26,55</b>	<b>100</b>
Pedologia	BHRC		BHRP	
	Área	%	Área	%
Argissolo Amarelo	7,32	8,85	13,11	49,38
Cambissolo Flúvico	44,15	53,32	X	X
Cambissolo Háptico	20,27	24,49	4,18	15,74
Gleissolo Háptico	1,51	1,82	X	X
Neossolo Litólico	3,55	4,28	9,26	34,88
Solo Indiscriminado de Mangue	6,00	7,24	X	X
<b>Total</b>	<b>82,798</b>	<b>100</b>	<b>26,55</b>	<b>100,00</b>
Classes de Relevô	BHRC		BHRP	
	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%
Escarpado	0	0,00	5,13	19,32
Montanhoso	3,545	4,28	7,7	29,00
Forte Ondulado	7,063	8,53	6,69	25,20
Ondulado	19,255	23,26	3,36	12,66
Suavemente Ondulado	1,248	1,51	1,73	6,52
Plano	51,687	62,43	1,94	7,31
<b>Total</b>	<b>82,798</b>	<b>100</b>	<b>26,55</b>	<b>100</b>
Edificações	BHRC		BHRP	
Número de Edificações	113918		367	
Número de Edificações por Área (km <sup>2</sup> )	1375,85		13,82	

**Figura 4** - Resumo de Caracterização da Área de Estudo.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira – BHRC apresentou elevado índice de estabilidade à movimentos translacionais, sendo que a soma das áreas incondicionalmente estáveis atingiu

aproximadamente 97% da área desta bacia, mesmo quando se considera profundidade de ruptura de 20 metros como observável na figura 5 e tabela 3.



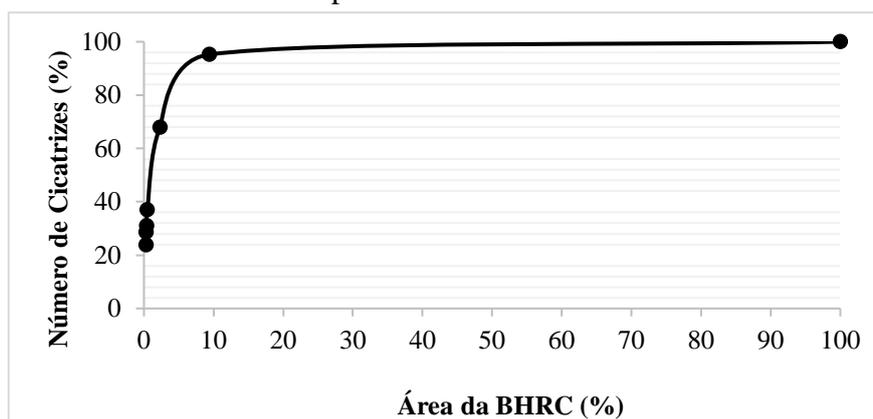
**Figura 5** – Porcentagem de Áreas Instáveis ao Deslizamento Translacional da BHRC.

**Tabela 3** – Porcentagem de Áreas Instáveis ao Deslizamento Translacional da BHRC.

Classe de Estabilidade	Altura (z)					
	20m	15m	12m	10m	7m	5m
<b>Incond. Instável e Sat. (%)</b>	0,49	0,43	0,38	0,33	0,24	0,15
<b>Incond. Instável e Não Sat. (%)</b>	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01
<b>Instável e Sat. (%)</b>	0,05	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02
<b>Instável e Não Sat. (%)</b>	0,12	0,11	0,09	0,08	0,06	0,04
<b>Estável e Não Sat. (%)</b>	2,15	2,02	1,92	1,81	1,54	1,22
<b>Incond. Estável e Não Sat. (%)</b>	8,16	7,82	7,47	7,13	6,29	5,24
<b>Incond. Estável e Sat. (%)</b>	89,0	89,5	90,1	90,6	91,8	93,3
<b>Total (%)</b>	100	100	100	100	100	100

Por meio da figura 6 e da tabela 3, é possível verificar que mesmo variando a profundidade de ruptura dos solos em 15 metros, foi registrada baixa variação entre as classes de estabilidade, tal fato está relacionado com o relevo ameno apresentado por esta bacia. Portanto para validação dos resultados escolheu-se a profun-

didade de 10 metros, uma vez que os solos de Joinville são considerados profundos, por estarem numa área que apresenta elevado índices pluviométricos (podendo ultrapassar média de 2000mm/ano), além de esta profundidade apresentar um valor médio entre a profundidade de 20 e de 5m.



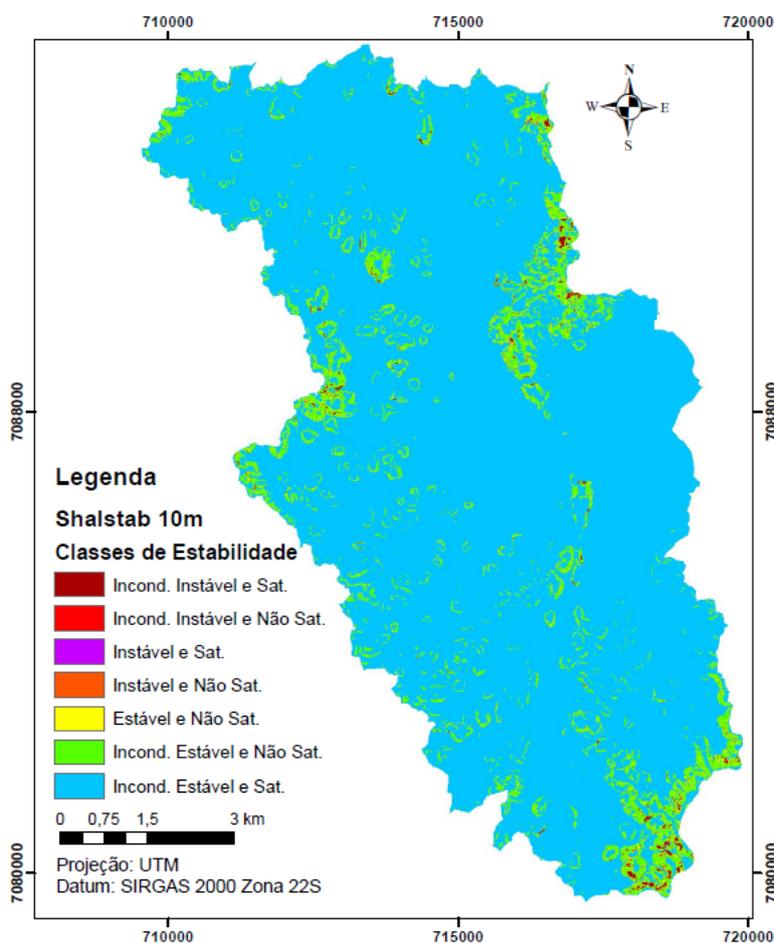
**Figura 6** – Curva de Validação para o Mapa SHALSTAB com z = 10m da BHRC.

As cicatrizes mapeadas por este trabalho apresentaram que 36,9% localizam-se sobre a uma região considerada instável pelo modelo SHALSTAB para quando a superfície de ruptura estiver situada a profundidade de 10 metros. Destaca-se que as

áreas consideradas instáveis pelo citado modelo, não chegam a cobrir uma área de 0,5% do território da BHRC, ou seja, apenas 0,5% da área corresponde à frequência de 36,9% da ocorrência de deslizamentos (Tabela 4 e Figura 7).

**Tabela 4** – Análise do Número de Deslizamentos Translacionais da BHRC para  $z = 10\text{m}$ .

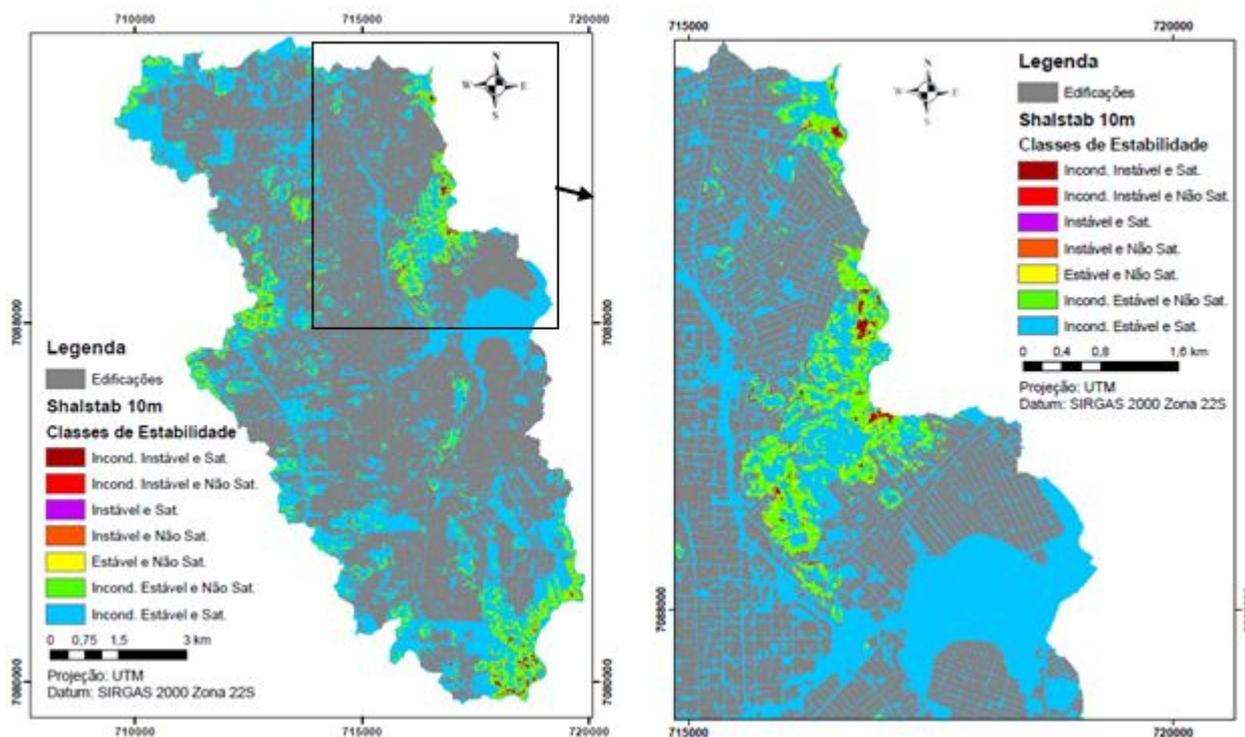
Classes de Estabilidade	Nº Cicatrizes	% Cicatrizes	% Acumulada	% Área	% Acumulada
<b>Incond. Instável e Sat.</b>	20	23,81	23,81	0,33	0,33
<b>Incond. Instável e Não Sat.</b>	4	4,76	28,57	0,03	0,36
<b>Instável e Sat.</b>	2	2,38	30,95	0,04	0,40
<b>Instável e Não Sat.</b>	5	5,95	36,90	0,08	0,48
<b>Estável e Não Sat.</b>	26	30,95	67,86	1,81	2,29
<b>Incond. Estável e Não Sat.</b>	23	27,38	95,24	7,13	9,42
<b>Incond. Estável e Sat.</b>	4	4,76	100	90,58	100
<b>Total (%)</b>	84	100	100	100	100



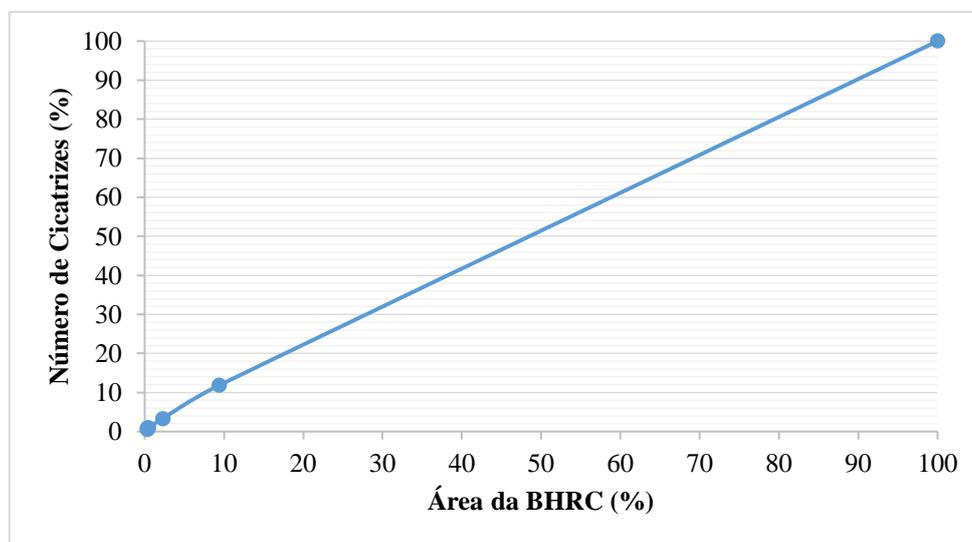
**Figura 7** – Mapa SHALSTAB para  $z = 10\text{m}$  da BHRC.

Os pontos considerados instáveis pelo modelo SHALSTAB apresentaram alta relação entre número de ocorrência e a área ( $\text{km}^2$ ) de ocorrência, tendo como média 80 cicatrizes de deslizamentos por  $\text{km}^2$ . A projeção das cicatrizes mapeadas sobre as áreas de instabilidade do modelo SHALSTAB estão apresentadas na figura 8. A partir da curva de validação observou-se que a maior parte das cicatrizes mapeadas na área da BHRC encontra-se em

áreas consideradas pelo modelo como sendo estáveis. Tal fato está correlacionado com o dinamismo apresentado pela ocupação urbana, uma vez que as áreas classificadas como instáveis, apresentam-se adjacentes à ocupação humana (Figura 9) que por vezes causam alteração do relevo e quando realizado em data posterior a confecção do Modelo Digital do Terreno passam despercebidas pela classificação da estabilidade.



**Figura 8** – Mapa SHALSTAB para  $z = 10\text{m}$  da BHRC com Urbanização.



**Figura 9** – Curva de validação para número de ocorrências de deslizamentos atendidas pela Defesa Civil de Joinville na área da BHRC para o Mapa SHALSTAB com  $z = 10\text{m}$  da BHRC.

Em relação aos dados obtidos junto a Defesa Civil, verificou-se que o modelo SHALSTAB, não apresentou eficácia na identificação das ocorrências atendidas por este órgão, uma vez que a curva de validação apontou que 98,7% dos registros de ocorrência atendidos pela defesa civil encontra-se em área considerada estável por este modelo (Tabela 5 e Figura 10).

Em relação aos dados oriundos da Defesa Civil, cabe destacar que o órgão considera quedas de muro de contenção como eventos de deslizamentos, e com isso, mesmo que uma determinada região se encontrar sobre uma área em que a inclinação do relevo é amena (ex.:

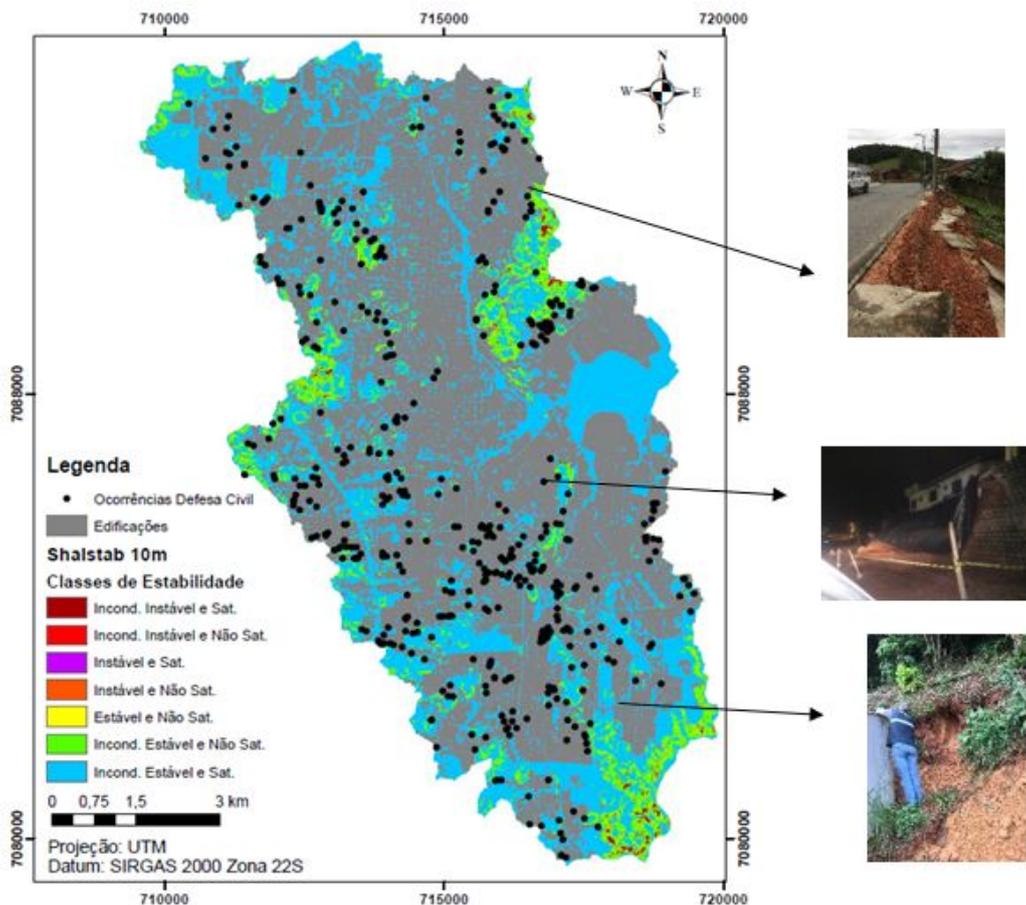
suavemente ondulado), as alteração desta inclinação promovida pela intervenção humana (obras de engenharia), reclassifica a inclinação do relevo e dependendo do tamanho de tal obra, pode não ser reconhecido pelo Modelo Digital do Terreno e com isso tal vulnerabilidade não é calculado pelo modelo SHALSTAB (Figura 11).

A Bacia Hidrográfica do Rio da Prata (BHRP) apresenta características geomorfológicas diferentes da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (analisada anteriormente).

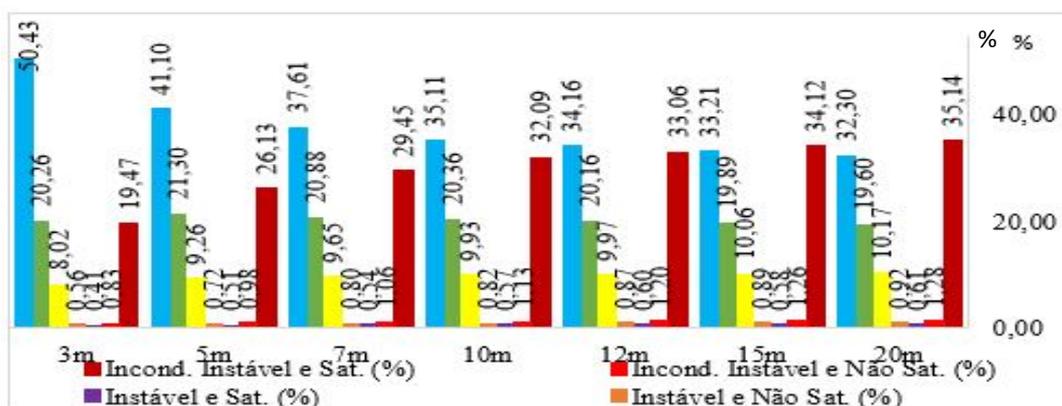
Na BHRP a paisagem encontra-se encaixada sobre um vale em “V”, onde diferença de elevação entre o cume e o exutório desta bacia é

**Tabela 5** – Análise do número de ocorrências de deslizamentos atendidas pela Defesa Civil de Joinville na área da BHRC com o Modelo SHALSTAB para z = 10m.

Classes de Estabilidade	Nº Ocorrências	% Ocorrências	% Acumulada	% Área	% Acumulada
Incond. Instável e Sat. (%)	3	0,63	0,63	0,33	0,33
Incond. Instável e Não Sat. (%)	1	0,21	0,83	0,03	0,36
Instável e Sat. (%)	0	0	0,83	0,04	0,4
Instável e Não Sat. (%)	1	0,21	1,04	0,08	0,48
Estável e Não Sat. (%)	11	2,29	3,33	1,81	2,29
Incond. Estável e Sat. (%)	41	8,54	11,9	7,13	9,42
Incond. Estável e Não Sat. (%)	423	88,1	100	90,6	100
<b>Total</b>	<b>480</b>	<b>100</b>		<b>100</b>	



**Figura 10** – Mapa SHALSTAB para z = 10m com as edificações e registro de ocorrências atendidas pela Defesa Civil de Joinville na Área da BHRC.

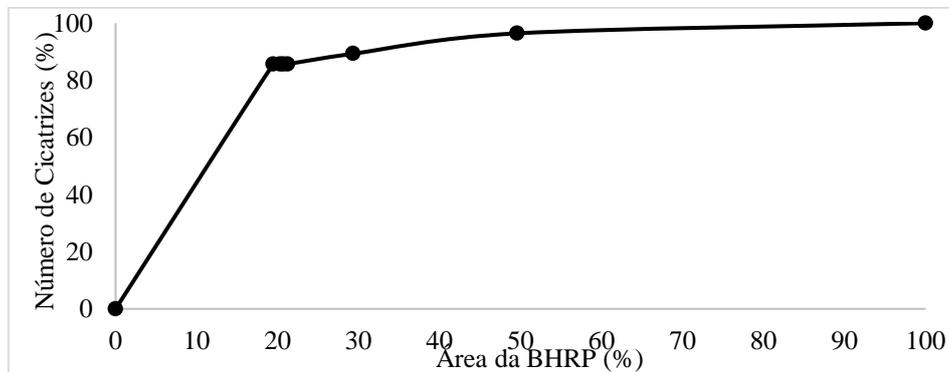


**Figura 4** – Porcentagem de áreas instáveis ao deslizamento translacional da BHRP.

superior a 900 metros; e o relevo exibe alta inclinação, sendo que 73,77%, está classificado com classes superiores ao Forte Ondulado (20 a 45%). Quando se analisa a ocupação humana, verifica-se que nesta bacia há menor interferência da de fatores antrópicos e que o principal uso do solo está relacionado com atividades agrícolas.

A BHRP apresentou elevado índice de

estabilidade quando se considerou a superfície de ruptura localizada a 3 metros de profundidade tendo 70,69% de sua área classificada na situação de incondicionalmente estável. Entretanto, notou-se que à medida em que a profundidade da superfície de ruptura aumentou (para profundidades superiores a 10 metros) esta área sofreu uma redução de aproximadamente 15% (Figura 12 e Tabela 6).



**Figura 5** – Curva de validação para número de ocorrências de deslizamentos na área da BHRP para o Mapa SHALSTAB com  $z = 3m$ .

**Tabela 6** – Porcentagem de áreas instáveis ao deslizamento translacional da BHRP.

Classe de Estabilidade	Altura (z)						
	20m	15m	12m	10m	7m	5m	3m
<b>Incond. Instável e Sat. (%)</b>	35,1	34,1	33,1	32,1	29,5	26,1	19,5
<b>Incond. Instável e Não Sat. (%)</b>	1,28	1,26	1,20	1,13	1,06	0,98	0,83
<b>Instável e Sat. (%)</b>	0,61	0,58	0,60	0,57	0,54	0,51	0,41
<b>Instável e Não Sat. (%)</b>	0,92	0,89	0,87	0,82	0,80	0,72	0,56
<b>Estável e Não Sat. (%)</b>	10,2	10,1	9,97	9,93	9,65	9,26	8,02
<b>Incond. Estável e Não Sat. (%)</b>	19,6	19,9	20,2	20,4	20,9	21,3	20,3
<b>Incond. Estável e Sat. (%)</b>	32,30	33,2	34,2	35,1	37,6	41,1	50,4
<b>Total (%)</b>	100	100	100	100	100	100	100

Para a validação dos resultados obtidos pelo modelo SHALSTAB, cabe considerar que 78,57% das cicatrizes foram mapeadas em solo residual jovem (RLgn) e com baixo desenvolvimento pedológico, por isto a espessura considerada para validação dos resultados desta bacia foi de 3m. Esta profundidade apresentou boa correlação, uma vez que a mesma apontou que 85,71% das cicatrizes mapeadas na BHRP, ocorre sobre as áreas consideradas como incondicionalmente instáveis pelo modelo SHALSTAB. Esta fre-

quência de eventos, ocorrem sobre 21,28% da área desta bacia (Tabela 7 e Figura 13).

As cicatrizes mapeadas nesta bacia se concentram predominantemente nas áreas incondicionalmente instável, sendo que nesta classificação a média de ocorrências de deslizamentos identificada por este trabalho, foi de 1 cicatriz para cada  $km^2$  de área incondicionalmente instável.

A projeção das cicatrizes sobre o mapa de deslizamentos translacionais pode ser observada através da Figura 14.

**Tabela 7** – Análise do Número de Deslizamentos Translacionais da BHRP para  $z = 3m$ .

Classes de Estabilidade	Nº Cicatrizes	% Cicatrizes	% Acumulada	% Área	% Acumulada
<b>Incond. Instável e Sat.</b>	24	85,71	85,71	19,47	19,47
<b>Incond. Instável e Não Sat.</b>	0	0,00	85,71	0,829	20,30
<b>Instável e Sat.</b>	0	0,00	85,71	0,414	20,72
<b>Instável e Não Sat.</b>	0	0,00	85,71	0,565	21,28
<b>Estável e Não Sat.</b>	1	3,57	89,29	8,022	29,30
<b>Incond. Estável e Não Sat.</b>	2	7,14	96,43	20,26	49,57
<b>Incond. Estável e Sat.</b>	1	3,57	100,00	50,43	100
<b>Total</b>	28	100		100	

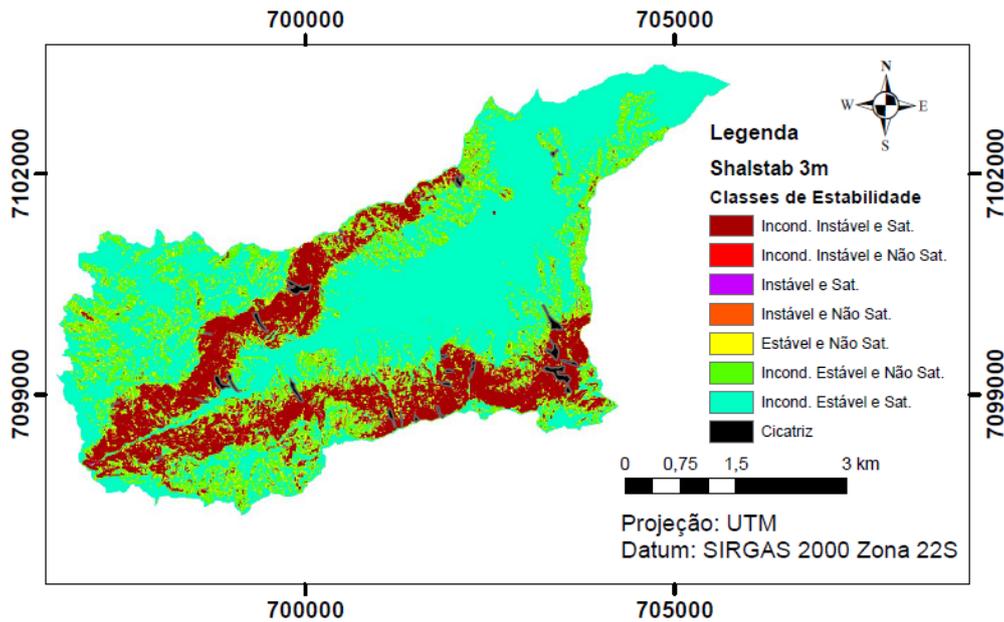


Figura 6 – Mapa SHALSTAB para  $z = 3m$  da BHRP.

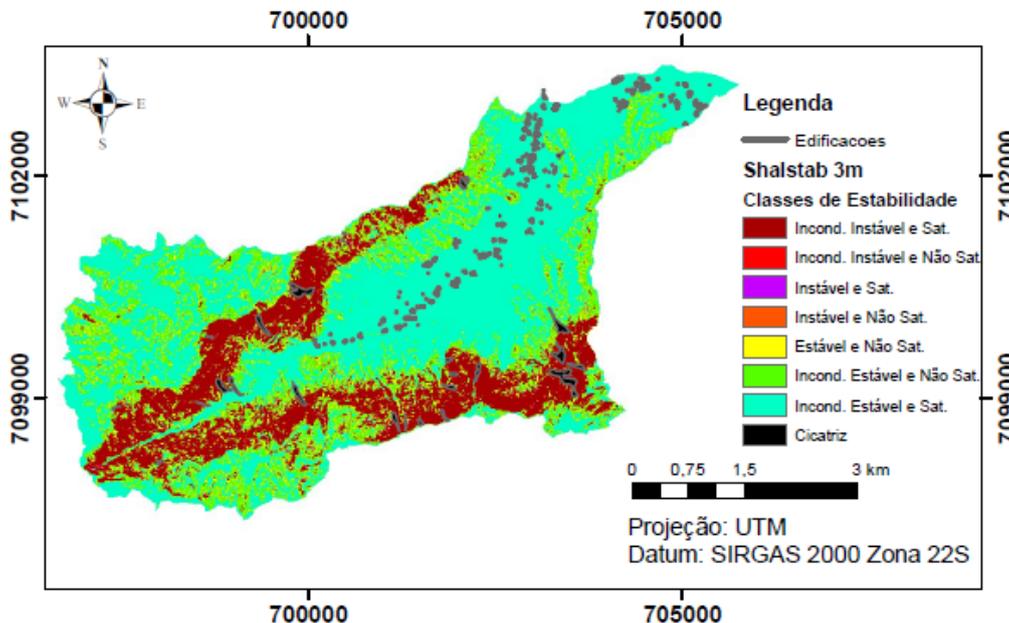


Figura 7 – Mapa SHALSTAB para  $z = 3m$  com as edificações e cicatrizes de deslizamento na área da BHRP.

A ocupação humana concentra-se encaixada nas margens do Rio da Prata e pouco influenciaram nas cicatrizes mapeadas por este trabalho. Cabe ressaltar que as edificações se encontram localizadas nas áreas consideradas incondicionalmente estáveis por este modelo (Figura 14). Contudo estas duas bacias apresen-

taram características adversas entre si, sendo que na BHRC as cicatrizes mapeadas podem ser classificadas como induzidas pelo uso e ocupação do solo urbano, diferentemente é o que ocorre na BHRP, onde as Cicatrizes Mapeadas não demonstraram relação direta com a ação antrópica.

## CONCLUSÃO

Quanto aos dados obtidos perante a defesa civil Joinville/SC verificou-se uma significativa fragilidade do método SHALSTAB para prevenção de fenômenos de deslizamentos ocorrentes em grandes centros urbanos como o da BHRC, uma vez que, a alteração do relevo promovida pela ação humana (cortes e

terraceamentos) por vezes podem não ser identificadas pelo Modelo Digital do Terreno (MDT), principalmente quando tais alterações ocorrem em data posterior a confecção do MDT.

Entretanto, as cicatrizes mapeadas por este trabalho apontaram que os modelos de mapeamento realizados neste trabalho são

validos, uma vez que a maior parte das cicatrizes foram localizadas dentro das áreas consideradas como instáveis.

Por fim verificou-se que o mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais pelo modelo SHALSTAB profere elevada importância a inclinação do relevo e que tal

modelo não é indicado para ser executado em áreas com acentuado índice de urbanização. Entretanto, o mesmo apresenta bom resultado para reconhecer a fragilidade das áreas de relevo não habitadas com finalidade de limitar a expansão urbana para as áreas que se apresentam como instáveis.

## AGRADECIMENTOS

A Revista Brasileira de Cartografia (CBC), a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a Defesa Civil de Joinville/SC por incentivar a pesquisa e disponibilizar as condições necessária para divulgação deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A.E.S & FILHO, O.A. HIRAI, J.N. Mapeamento Geotécnico Combinando Três Abordagens Distintas: da EESC / USP / IPT e do Detalhamento Progressivo - Aplicação ao Município de Analândia – SP. In: GEOJOVEM, II. 2006. **Anais...** São Paulo, 2006.p. 6,
- ASAKAWA, S.S. Riscos Geológico-Geotécnicos em Taludes Rodoviários: Desenvolvimento de uma Metodologia de Mapeamento e Gerenciamento Integrado de Informações para a BR-376, Trecho da Serra do Mar (PR-SC). Relatório Técnico: Autopista Litoral Sul. Brasília/DF, 2015.
- BIM, R. **Mapa de susceptibilidade a movimento de massa da microbacia do Ribeirão das Pedras/SC determinado com ênfase na variação pluviométrica.** Florianópolis/SC, 2015. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
- CARAMEZ, M.L. **Mapeamento Geotécnico da Microbacia do Itacorubi – Florianópolis/SC – Aplicação do Modelo SHALSTAB para a Confecção de Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos Rasos de Encostas.** Florianópolis/SC, 2017. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- CARVALHO, A. P. P. **Mapeamento geoambiental do município de Delfinópolis-MG.** São Carlos/SP, 2017. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil,
- CORSI, A.L.C.; PENHA, M.; GUIMARÃES, P. Comparação dos Mapas Obtidos pela Modelagem no Shalstab com as Cartas Geotécnica e de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação. In: XII CONFERENCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 2017. Florianópolis. **Atas...** Florianópolis, p. 8, 2017.
- DIETRICH, W.E & MONTGOMERY, D.R. **SHALSTAB: A digital terrain model for mapping shallow landslide potential.** Prepared for publication as a technical report by NCASI, 1998.
- IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios.** 1. ed. Brasília/DF, 2007.
- LIMA, G.M.A. **Análise da susceptibilidade a deslizamentos por critérios topográficos: um estudo no alto da Bacia do Ribeirão Belchior, Gaspar - SC.** Florianópolis/SC, 2013. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- ODEBRECHT. Santa Catarina 2008 – Acontecimentos e consequências. Atuação da ABMS e exemplo de um Laudo de Diagnóstico e sua aplicação em Joinville/SC. Florianópolis/SC, 2017. **Anais...** Florianópolis, 2017, p. 1–8,
- REGINATTO, G.M.P. **Caracterização de Movimentos de Massa na Bacia Hidrográfica de Rio Cunha, Rio dos Cedros – SC, com Ênfase em Escorregamentos Translacionais.** Dissertação (Mestrado), Florianópolis/SC, 2013. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
- SAKAMOTO, Miryan Yumi et al. Uso do Método Borehole Shear Test no Mapeamento Geotécnico de Áreas de Risco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15, 2015. Bento Gonçalves/RS. **Atas...** Bento Gonçalves
- SBROGLIA, Regiane Mara; et al. Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos Translacionais com o Uso da Ferramenta ASA - Automatic Shalstab Analysis. In: XII CONFERENCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS COBRAE 2017, Florianópolis, p. 8, 2017.
- SBROGLIA, RM. **Mapeamento Geotécnico e das Áreas Suscetíveis a Deslizamentos na Microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC.** Florianópolis/SC, 2015. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Geografia.
- SOUZA, A. M.S. **Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos rasos na bacia do Rio Camboriú.** Florianópolis/SC 2015. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- SOUZA, L.A.D.E. **Cartografia Geoambiental e Cartografia Geotécnica Progressiva em Diferentes Escalas: Aplicação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo, Municípios de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais.** Ouro Preto/MG, 2015. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

*Submetido em 3 de maio de 2021  
Aceito para publicação em 3 de agosto de 2021*