



Mapeamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio do Tigre Localizada no Município de Joaçaba/SC

Gislaine Luvizão

Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Brasil, gislaine.luvizao@unoesc.edu.br

Gabriela Ceccon Carlesso

Universidade do Oeste de Santa Catarina, Chapecó, Brasil, gabriela.carlesso@unoesc.edu.br

Rafael Augusto dos Reis Higashi

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, rrhigashi@gmail.com

Fabiano Alexandre Nienov

Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Brasil, fabiano.nienov@unoesc.edu.br

Lucas Quiocca Zampieri

Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Brasil, lucas.zampieri@unoesc.edu.br

RESUMO: A falta de cautela do homem, ao ocupar áreas de instabilidade, pode ser responsável por grandes tragédias ambientais. Nos últimos anos, devido ao risco iminente de deslizamentos no município de Joaçaba (SC), veem-se buscando identificar as áreas de risco. O objetivo principal do presente artigo consiste na elaboração do mapeamento geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio do Tigre, localizada neste município. Este mapeamento teve como finalidade o estabelecimento de áreas e de condições consideradas de risco para a população. A partir de ensaios de caracterização dos solos, de mapas disponíveis online e do emprego do software ArcGIS®, construiu-se um banco de dados geotécnicos georreferenciados. O tratamento destes dados gerou uma diversidade de mapas, que possibilitaram o entendimento acerca do comportamento das unidades geotécnicas. Por meio de análises de susceptibilidade a deslizamentos rotacionais e transacionais, foi possível identificar áreas que apresentam risco à população e devem ser monitoradas.

PALAVRAS-CHAVE: Mapeamento Geoambiental, Unidades Geotécnicas, Movimentos de Massa e Deslizamentos, Joaçaba.

1 INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio do Tigre está localizada no município de Joaçaba, em Santa Catarina. Com relevo acidentado e ocupação ao longo das margens do Rio do Peixe e do Rio do Tigre, e encostas, observa-se, no local, a ocorrência frequente de incidentes relacionados com movimentação de solo, sendo necessária a remoção das famílias ou interdição de vias.

Ocupações irregulares, falta de conhecimento das características do solo, além da adoção de métodos de escavação e uso do solo inadequados, principalmente no perímetro urbano, vêm preocupando a área técnica e colocando em risco a segurança da população.

Diante disso, este artigo busca, por meio de ensaios de campo e dados georreferenciados, produzir mapas geotécnicos e geoambientais, além de aferir a susceptibilidade a



deslizamentos rotacionais e translacionais.

Como ferramentas de análise, foram utilizados os softwares ArcGIS® e MacSTARS®. Com o uso do primeiro, foram elaborados os mapas, além de ter sido realizada a análise de susceptibilidade a deslizamentos translacionais pela aplicação do modelo SHALSTAB (Shallow Slope Stability). Enquanto isto, o software MacSTARS® foi empregado na avaliação da susceptibilidade a deslizamentos rotacionais, a partir da aplicação do método de Bishop.

2 REFERENCIAL

2.1 Mapeamento Geoambiental

O mapeamento geoambiental pode ser definido como uma metodologia que tem como objetivo a divisão de determinada área em classes homogêneas hierarquizadas. Tal divisão pode basear-se, por exemplo, em características geológico-geomorfológicas e de uso e ocupação do solo (SCOTTI, 2015).

Esta é uma ferramenta primordial para o planejamento das ações em prol da utilização dos recursos naturais de forma sustentável. Diante das informações adquiridas com o referido mapeamento, é possível aferir a sensibilidade do ambiente em face às intervenções que podem ocorrer, além de auxiliar na identificação de medidas que devem ser realizadas para prevenir, conservar ou recuperar os locais mapeados (CABRAL, 2014).

2.2 Movimentos de massa e os deslizamentos (ou escorregamentos)

Os movimentos de massa consistem no deslocamento de determinados volumes de solo. Na literatura, de modo geral, estes fenômenos se encontram associados à instabilidade de encostas (GERSOVICH, 2016).

Entre os principais movimentos de massa,

destacam-se os deslizamentos. São classificados, em relação à superfície de ruptura, como rotacionais ou translacionais. Normalmente, são os responsáveis pelas interdições das rodovias e têm origem nas enxurradas (FUTAI, 2017; SBROGLIA, 2015).

2.3 Pedologia

De acordo com características próprias, os solos podem ser divididos em diferentes classes pedológicas. Na sequência, apresenta-se a caracterização dos solos abordados neste estudo, conforme Jarbas et al. (2010):

- a) Cambissolos: são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B incipiente. Podem possuir características bastante variáveis em função da heterogeneidade do material de origem, do relevo e do clima. Constituem solos fortemente até imperfeitamente drenados, variando de rasos a profundos, com coloração bruna ou bruno-amarelada.
- b) Litólicos: são muito pouco desenvolvidos, de profundidade rasa e caráter não hidromórfico. Apresentam horizonte A posicionado de maneira direta sobre a rocha ou sobre um horizonte C com espessura pequena. Normalmente, são solos pedregosos e/ou rochosos, apresentando capacidade de drenagem entre moderada a excessiva. São altamente susceptíveis à erosão, sobretudo em regiões de relevo acidentado, onde ocorrem com frequência maior.
- c) Terra bruna estruturada: são solos que possuem coloração bruna amarelada pouco impressiva. A diferenciação dos horizontes é de pouca notabilidade. Na região Sul do Brasil, são frequentemente utilizados para o cultivo de frutos. Entre as principais limitações deste solo, pode-se destacar a sua permeabilidade restrita.



2.4 Borehole Shear tester

O *Borehole Shear Test (BST)* consiste em um ensaio, realizado em campo, com a finalidade de serem obtidos os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos. Para tanto, são feitas leituras de tensões cisalhantes máximas no material, dentro de furos pré-escavados. A aplicação destas tensões ocorre a partir da expansão diametral de uma sonda cisalhante no contato com as paredes do furo, mantendo-se a tensão normal constante (HANDY; FOX; 1967, apud CARAMEZ, 2017).

Este ensaio apresenta uma alternativa única para a avaliação da resistência ao cisalhamento do solo, em que os testes podem ser realizados rapidamente nas laterais do furo, em material relativamente não perturbado. Em contraste com outros métodos de medição da resistência ao cisalhamento *in situ*, o BST fornece valores discretos de ângulo de fricção e coesão; portanto, análises mais completas podem ser feitas para problemas fundamentais como capacidade de carga e estabilidade de taludes (HANDY GEOTECHNICAL INSTRUMENTS, 2018). A Figura 1 apresenta um esquema de como é montado o equipamento em campo.

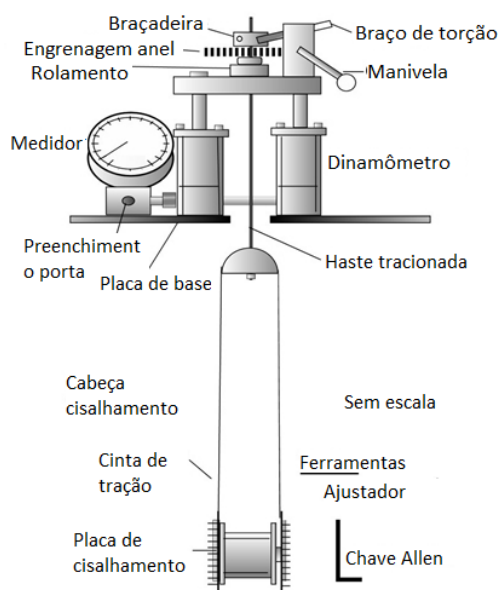


Figura 1: Equipamento *Borehole shear test*.
 Fonte: Handy Geotechnical Instruments (2018).

3 MÉTODO DA PESQUISA

A presente pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas.

Na Etapa 1 foi executada a caracterização da área de estudo, que corresponde à Bacia Hidrográfica do Rio do Tigre. Nesta etapa, foram determinadas características físicas e geográficas do local, como localização, área, extensão, altitude, etc. Esta determinação foi realizada a partir de informações disponíveis na literatura.

Na sequência, a Etapa 2 consistiu no levantamento dos dados necessários para a elaboração dos mapas e das análises posteriores. Esta etapa foi dividida em duas etapas parciais: (1) obtenção dos mapas preliminares (geológico, pedológico e curvas de nível); e (2) seleção dos resultados de ensaios de caracterização dos solos. Para a obtenção dos mapas preliminares, foram consultadas bases cartográficas online, com escala 1:10.000 (Mapoteca Epagri). Os resultados dos ensaios de caracterização dos solos, por sua vez, foram obtidos a partir de estudos prévios desenvolvidos pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (Unoesc) e por ensaios em campo como o BST (*Borehole Shear Teste*), conforme Figura 2.



Figura 2: Execução ensaio BST.

Posteriormente, na Etapa 3, executou-se a elaboração dos mapas geotécnico e adicionais



(de mancha urbana, uso e ocupação do solo, permeabilidade – obtido através de ensaios com permeâmetro tipo escavado em 12 pontos distribuídos ao longo de toda a bacia, classificação textural, etc.). Esta fase da pesquisa foi realizada com o emprego do *software* ArcGIS®, sendo que, para a elaboração dos mapas, os dados levantados na Etapa 2 foram dispostos, a priori, na forma de um banco de dados georreferenciado.

Por fim, a Etapa 4 consistiu na análise da susceptibilidade da área à ocorrência de deslizamentos rotacionais e translacionais. A susceptibilidade a deslizamentos rotacionais foi verificada a partir de simulações realizadas no *software* MacSTARS®, considerando-se a análise da estabilidade global dos taludes pela aplicação do método de Bishop (superfície de ruptura circular). Para a aplicação deste método, foi simulada a ruptura do talude ilustrado na Figura 3, variando-se o ângulo de inclinação (Θ) entre 15° e 50° .

Conforme se pode observar, a geometria adotada nas simulações corresponde a uma camada de solo com espessura constante de 5 m, apoiada sobre um maciço rochoso. Esta geometria foi definida com base em ensaios de SPT (*Standard Penetration Test*), fornecidos por construtoras do município.

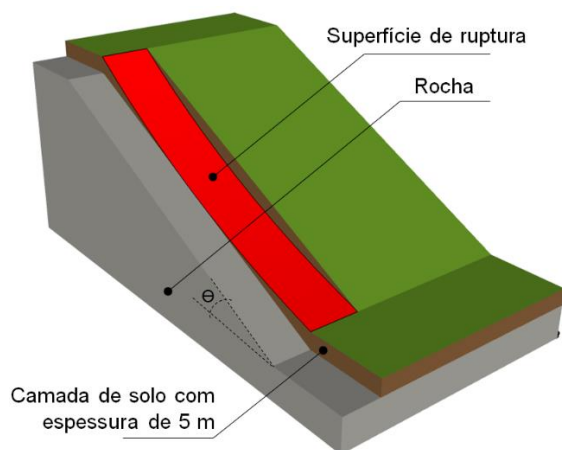


Figura 3: Superfície de deslizamento rotacional

Os parâmetros do solo considerados nas simulações são apresentados na Tabela 1 e

também foram definidos com base em estudos prévios conduzidos pela Unoesc. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento, c (kPa) e ϕ ($^\circ$), foram considerados na condição inundada. O solo apresenta características residuais e foi considerada a ruptura entre a rocha e o solo, situação mais ocorrente na região.

Tabela 1: Parâmetros do solo

Parâmetros	Resultados
c (kPa)	11
ϕ ($^\circ$)	32,9
γ_{nat} (kN/m ³)	16
γ_{sat} (kN/m ³)	18

A susceptibilidade a deslizamentos translacionais, por sua vez, foi verificada no *software* ArcGIS®, com o emprego do modelo SHALSTAB (*Shallow Slope Stability*), com superfície de deslizamento à cinco metros de profundidade (Figura 4).

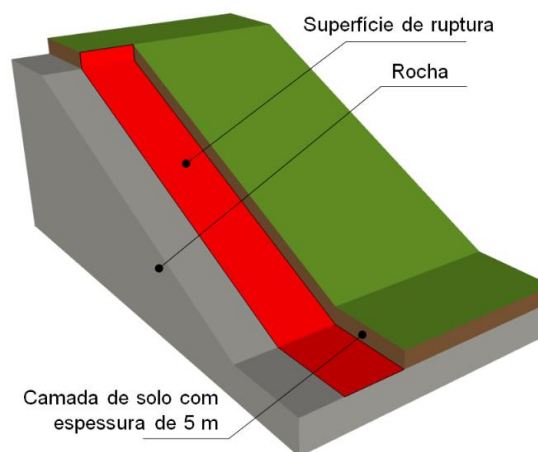


Figura 4: Superfície de deslizamento translacional

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Através dos dados coletados e do tratamento destes, foi possível a elaboração dos mapas e a obtenção de parâmetros de estabilidade das encostas.



4.1 Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio do Tigre localiza-se no município de Joaçaba, no estado de Santa Catarina, e é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Rio do Peixe.

Possui área de 86,089 km², distribuída entre as altitudes 500 m e 1050 m. O rio principal compreende extensão total de 35,1 km desde a nascente até a foz. Na Figura 5 consta a localização da bacia, inserida no território nacional.

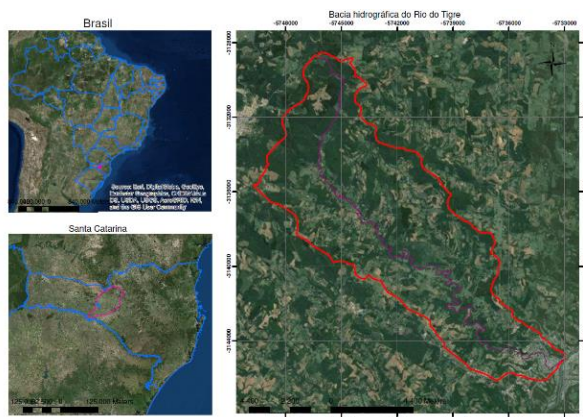


Figura 5: Localização da Bacia Hid. do Rio do Tigre

4.2 Levantamento de dados

A Bacia Hidrográfica do Rio do Tigre possui formação geológica Serra Geral, a qual refere-se à província magmática relacionada aos derrames e intrusivas que recobrem a Bacia do Paraná, abrangendo toda a região centro-sul do Brasil. Esta unidade está constituída predominantemente por basaltos e basalto-andesitos de filiação toleítica, os quais contrastam com riolitos e riodacitos aflorantes.

As variações composicionais, os dados geocronológicos, as características texturais e o arranjo entre derrames e intrusivas da bacia, possibilitaram a divisão deste magmatismo Serra Geral em oito fácies distintas, cinco relacionadas ao magmatismo máfico (fácies Gramado, Paranapanema, Pitanga, Esmeralda, Campo Erê e Lomba Grande) e quatro ao magmatismo intermediário a félsico (fácies

Palmas, Chapecó, Várzea do Cedro e Alegrete).

A litologia, por sua vez, divide-se em formação basáltica (b) e basáltica/dacito (bda), conforme Figura 6.

Quanto à formação pedológica, esta é composta por solos de classificação cambissolo (C), litólico (R), terra bruna estruturada (TB), terra bruna roxa estruturada (TBR) e solo indefinido (SI), local onde concentra-se a área urbana da bacia). O mapa ilustrado na Figura 7 delimita a localização de cada unidade pedológica.

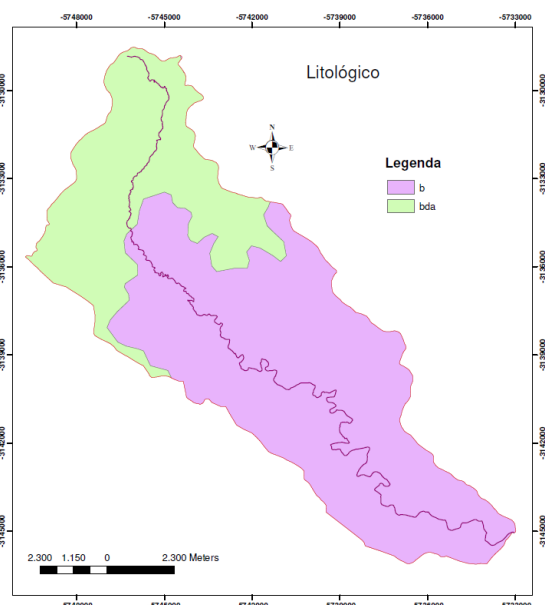


Figura 6: Formação litológica da bacia

A bacia Hidrográfica do Rio do Tigre apresenta relevo acidentado, com frequente ocorrência de deslizamentos (instabilidades). A Figura 8 ilustra o relevo da bacia.

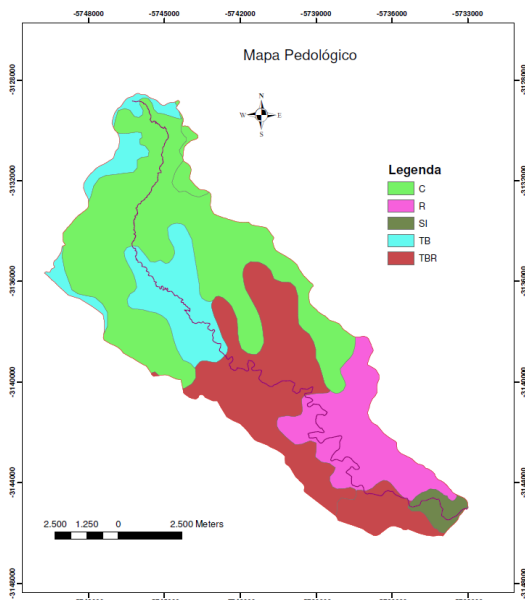


Figura 7: Formação pedológica do solo

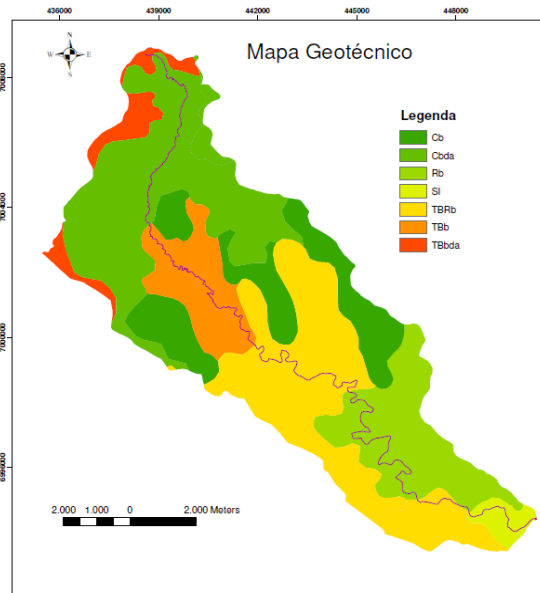


Figura 9: Mapa da formação geotécnica do solo

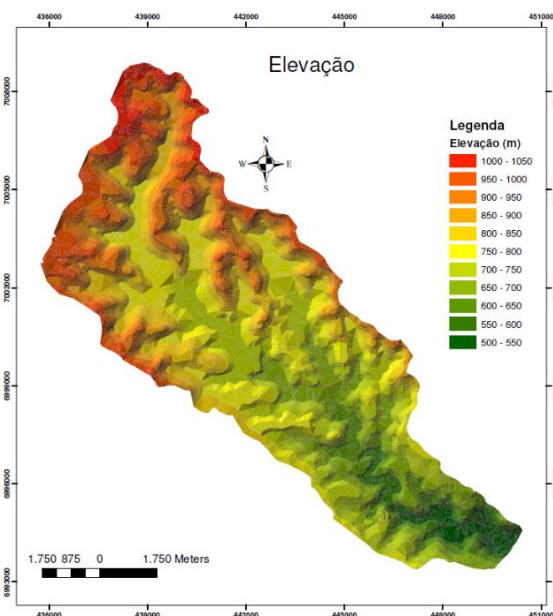


Figura 8: Elevação da bacia

4.3 Elaboração de mapas

De posse dos dados coletados em campo e informações obtidas em bases *online*, foram elaborados os mapas geotécnico (Figura 9), uso e ocupação do solo (Figura 10), classificação textural do solo (Figura 11) e permeabilidade (Figura 12).

Na bacia hidrográfica do Rio do Tigre, predomina a formação geotécnica terra bruna roxa estruturada de origem basáltica na área à margem direita do rio. Enquanto isso, na margem esquerda, encontra-se a formação litólico/basáltico. Este local apresenta elevada ocorrência de instabilidades, o que se deve às características do solo e a ocupação muitas vezes irregular de algumas áreas.

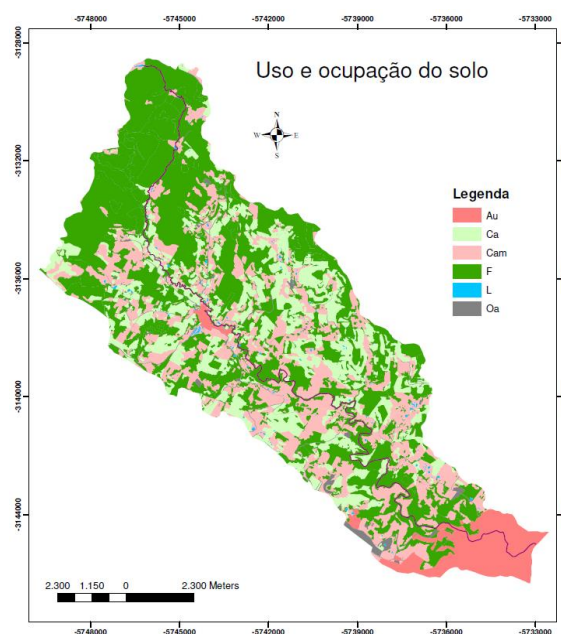


Figura 10: Uso e ocupação do solo



A economia do município de Joaçaba é influenciada diretamente pela produção agrícola. Isto fica evidente na Figura 10, onde ilustra-se o uso e ocupação do solo, com predominância de cultivo agrícola, campo e florestas (em sua maioria reflorestamento).

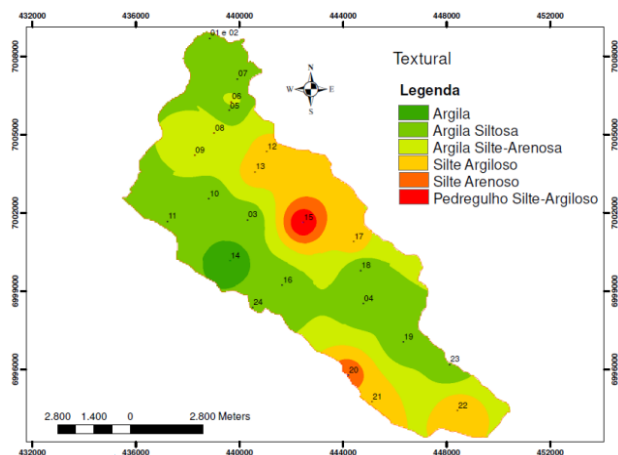


Figura 11: Classificação textural do solo

O solo de origem basáltica possui característica argilosa, com baixa permeabilidade. Solos argilosos aliados com profundidade rasa da rocha e índices pluviométricos elevados proporcionam saturação da camada de solo e consequentemente instabilidades.

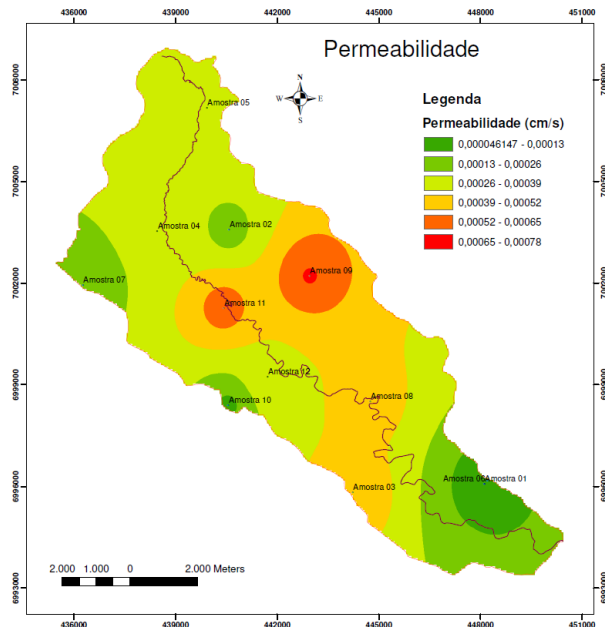


Figura 12: Permeabilidade do solo

Os solos com maior permeabilidade apresentaram características siltosa e pedregulhosa, com formação pedológica terra bruna (a qual apresenta características de relevo ondulado com presença de pedras na superfície).

A necessidade de melhor caracterizar as unidades geotécnicas, executou-se cinco furos do ensaio BST, conforme localização na Figura 14.

As unidades geotécnicas presentes na Bacia do Rio do Tigre, apresentam características semelhantes em relação aos parâmetros de coesão e ângulo de atrito, obtidos através dos ensaios de campo, portanto adotou-se como parâmetros os valores contidos na Figura 15.

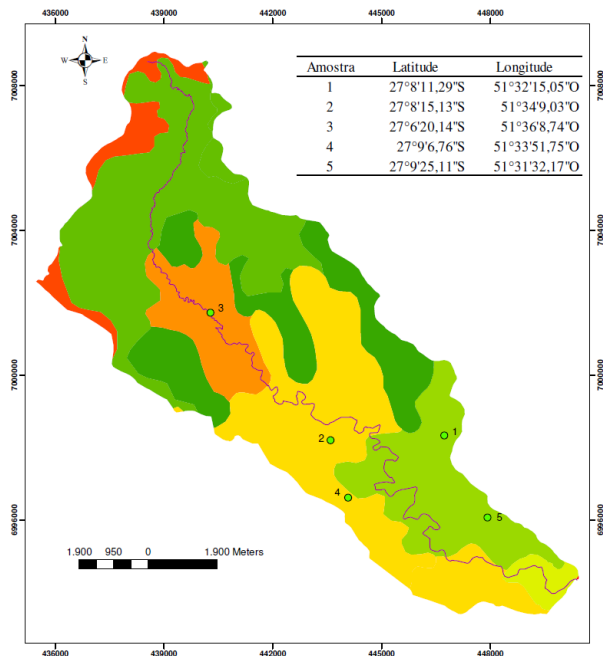


Figura 13: Localização furos BST

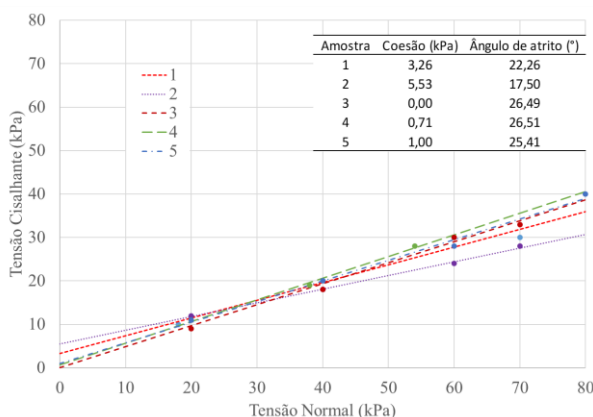


Figura 14: Resultados ensaios BST

Os resultados foram considerados na condição inundada, motivo pelo qual foram encontrados valores de coesão relativamente baixos. Todas as amostras comportaram-se de forma semelhante ao longo do ensaio, com exceção da amostra 3, que possui quantidade elevada de material granular (areia e pedregulho), apresentando desta forma coesão igual à zero e ângulo de atrito de aproximadamente 26°.

4.4 Análise de susceptibilidade ao deslizamento

A partir da análise de susceptibilidade ao deslizamento rotacional, avaliado pela estabilidade global, foram obtidos os resultados contidos na Figura 15.

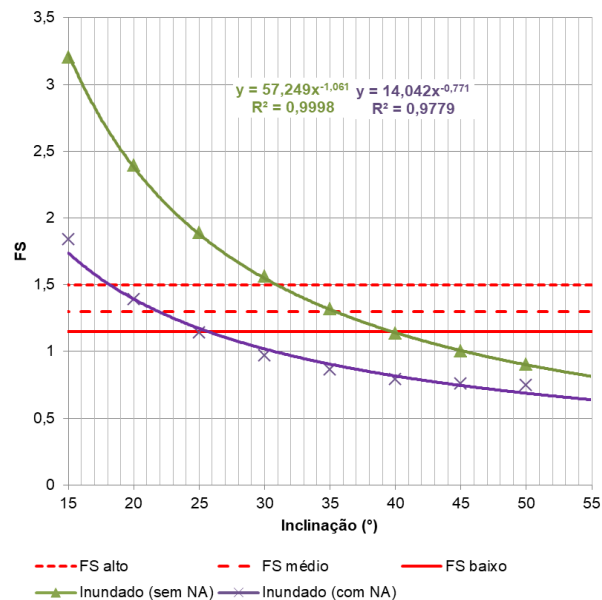


Figura 15: Análise da estabilidade global - deslizamento rotacional

Fica evidente a influência do nível de água quanto à estabilidade ao deslizamento rotacional. Enquanto o solo inundado sem nível de água apresentou fator de segurança médio (1,35) com 35° de inclinação, o solo inundado com nível de água teve redução de 15°, apresentando valor médio de fator de segurança com 20° de inclinação.

Para a análise da susceptibilidade ao deslizamento translacional raso, utilizou-se da classificação proposta por Michel (2013) (Tabela 2).

Tabela 2: Classificação estabilidade para deslizamentos translacionais rasos

Classes de Estabilidade	Valores Log q/T
Incondicionalmente estável	10 – 9,9
> -2,2	-2,2 – 9,9
-2,5 - -2,2	-2,5 – -2,2
-2,8 - -2,5	-2,8 – -2,5
-3,1 - -2,8	-3,1 – -2,8
< -3,1	-9,9 – -3,1
Incondicionalmente instável	-9,9 – -10



A Figura 16 ilustra as áreas suscetíveis ao deslizamento translacional, baseando-se nos dados obtidos em campo e os pré-existentes, em conjunto com a classificação proposta na Tabela 2.

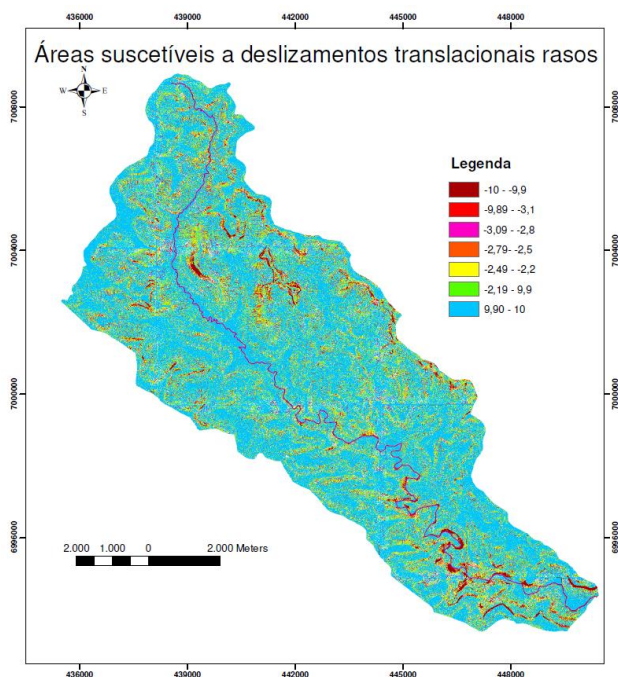


Figura 16: Áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais rasos

Como se observa na Figura 16, a maior parte da área classifica-se como incondicionalmente estável, isto é, não representaria problemas relacionados a deslizamentos translacionais rasos. Contudo, em algumas regiões, sobretudo situadas no interior da mancha urbana, nota-se a existência de áreas classificadas como incondicionalmente instáveis, o que significa a iminência de riscos para a população. Inclusive, estas áreas identificadas como instáveis coincidem com aquelas em que, historicamente, ocorreram deslizamentos no local.

Neste contexto, ocupações irregulares, mau uso do solo (manejo inadequado), precipitação elevada e falta de obras de drenagem, são alguns dos fatores preponderantes na falta de estabilidade de muitas encostas da bacia.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados apresentados, foi possível a definição das unidades geotécnicas que constituem a área de estudo. Esta definição, em conjunto com outros resultados apresentados, fundamenta subsídios para o entendimento do comportamento dos solos da região.

A partir das simulações conduzidas com o software MacSTARS®, foram identificadas as condições críticas relacionadas à estabilidade rotacional no local estudado. Neste sentido, destaca-se que taludes com inclinações maiores do que 26° podem ser considerados críticos quando na presença de nível da água, cujas proximidades não devem sofrer ocupação.

Em relação à susceptibilidade a deslizamentos translacionais rasos, pode-se afirmar que há compatibilidade entre a identificação dos locais de ocorrência de deslizamentos e os resultados da simulação pelo método SHALSTAB. De posse destes resultados e da observação do respectivo mapa elaborado neste artigo, também podem ser identificadas as áreas consideradas críticas e que não devem ser ocupadas.

Assim, nota-se que este estudo apresenta uma contribuição para a segurança da população da área avaliada e, de maneira direta, possibilita o controle racional da ocupação deste local.

REFERÊNCIAS

- Cabral, T. L. *Zoneamento e mapeamento geoambiental no município de Sorriso – MT*. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014, 131p.
- Caraméz, 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*. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis,



- 2017.
- Futai, M. M. Escorregamentos e desastres naturais. In: CICCOTI, L.; RODRIGUES, A. C.; GÜNTHER, W. M. R. *Desastres: Múltiplas Abordagens e Desafios*. São Paulo: Elsevier, 2017.
- Gersovich, D. M. S. Estabilidade de taludes. 2. ed. São Paulo: *Oficina de Textos*, 2016.
- Handy Geotechnical Instruments. *Borehole Shear Tester*. Madri, Estados Unidos da América, 2018. Disponível em: <http://www.handygeotech.com/borehole/>. Acessado em: 26 de abril de 2018.
- Handy, R. L., Fox, N. S. A soil borehole direct shear test device. *Highway Research News*, pp. p. 42-51. 1967.
- Jarbas, T. Sá, I.B. Petrere, V.G. Taura, T. A. Bioma Caatinga. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. *EMBRAPA*, Brasília, 2010.
- Michel, G. P. *Modelagem de estabilidade de encostas com consideração do efeito da vegetação*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013. 139p.
- Sbrogliá, R. M. *Mapeamento Geotécnico e das Áreas Suscetíveis a Deslizamentos na Microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- Scotti, A. A. V. *Zoneamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada – RS: Potencialidades e Susceptibilidade*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.