

17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

INSTABILIDADE DE TALUDES FRENTE AOS DESLIZAMENTOS DE TERRA ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO MODELO *SHALSTAB*: ESTUDO DE CASO NO BAIRRO AZAMBUJA EM BRUSQUE/SC

André Felipe Bozio ¹; Vivian da Silva Celestino Reginato ²

Resumo – Os deslizamentos de terra estão entre os maiores desastres naturais com vítimas fatais no Brasil. Na problemática de uso e ocupação desordenado do solo, falta de planejamento e gestão territorial, as encostas suscetíveis a estes deslizamentos estão cada vez mais ocupadas. Neste contexto, objetiva-se realizar o mapeamento de suscetibilidade a escorregamentos rasos por meio do modelo matemático *Shalstab* no bairro Azambuja, município de Brusque (SC). A metodologia baseou-se em três etapas, levantamento do material pré-existente, processamentos dos dados em ambiente SIG e aplicação do modelo matemático. Como resultados, foram obtidos o mapeamento das unidades geotécnicas da área de estudo e o mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, evidenciado pelo alto índice de instabilidade das suas encostas. Existe uma clara correlação entre a ocorrência de deslizamentos na região em questão e o relevo desta, mostrando-se uma área com potencial elevado em número de instabilidades sofridas diante de adversidades temporais.

Palavras-Chave – Instabilidade de encosta; solos tropicais; granitos; *Shalstab*.

Abstract – Landslides are among the biggest natural disasters with fatal victims in Brazil. In the problem of disorderly land use and occupation, lack of planning and territorial management, the slopes susceptible to these landslides are increasingly occupied. In this context, the objective is to carry out the mapping of susceptibility to shallow landslides through the *Shalstab* mathematical model in the Azambuja neighborhood, municipality of Brusque (SC). The methodology was based on three stages, survey of pre-existing material, data processing in a GIS environment and application of the mathematical model. As a result, the mapping of the geotechnical units of the study area and the susceptibility map to gravitational mass movements were obtained, evidenced by the high instability index of its slopes. There is a clear correlation between the occurrence of landslides in the region in question and its relief, showing an area with a high potential in the number of instabilities suffered in the face of temporal adversities.

Keywords – slope instability; tropical soils; granites; *Shalstab*.

¹ Eng., Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis – SC ; Instituto Brusque de Planejamento Urbano (IBPLAN): Brusque - SC, (47) 99926-2902, andrefbozio@gmail.com

² Eng., Dra., Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis – SC, vivian.celestino@ufsc.br

1. INTRODUÇÃO

A ocupação desordenada em locais suscetíveis a deslizamentos são grandes propulsores de desastres naturais. Neste contexto, a gestão ambiental do município deve estar atenta para que áreas em expansão urbana sejam devidamente analisadas e caracterizadas no que tange os aspectos geotécnicos e de instabilidade.

Segundo a bibliometria de Wu *et al.* (2015) as pesquisas relacionadas aos deslizamentos de terra veem crescendo nas últimas duas décadas, sendo os países da América do Norte, Europa Ocidental e do Leste Asiático os mais impulsionadores.

Com a finalidade de prever e analisar as áreas com taludes instáveis que geram riscos, diversos modelos matemáticos aliados aos Sistemas de Informações Geográficas estão sendo utilizados. O *Shalstab* (*Shallow Landslide Stability*) desenvolvido por Montgomery e Dietrich (1994), SINMAP (*Stability Index Mapping*) (Pack *et al.*, 1998) e o TRIGRS (*Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional*) (Baum, 2002) são baseados em dados geotécnicos e hidrológicos dos taludes em que se deseja aplicar a análise.

Este trabalho optou pela utilização do modelo *Shalstab* visto o grande emprego do mesmo na análise de diferentes localidades do estado de Santa Catarina (MELO E KOBAYAMA, 2018) e por sua simples interface, tendo acesso direto pela internet, pequena quantidade de dados de entrada e o rápido processamento de dados (MELO; MICHEL; KOBAYAMA, 2018).

O modelo matemático *Shalstab* desenvolvido por Montgomery e Dietrich (1994) e impulsionado pela tese de doutorado de Guimarães (2000), segundo Melo e Kobiyama (2018), vincula dados topográficos (declividade, área de contribuição), climáticos e parâmetros geotécnicos do solo (ângulo de atrito, coesão e densidade).

Dada a aplicação deste modelo no Brasil, Santa Catarina está em primeiro lugar em relação às publicações que utilizam este método na análise de suscetibilidade entre os anos de 2002 e 2016, seguidos pelo Rio de Janeiro e São Paulo (MELO E KOBAYAMA, 2018), segundo os autores, as áreas de estudo mais analisadas por meio deste método estão situadas em uma geomorfologia íngreme associada ao clima tropical, propícios para deslizamentos de terra.

O estado de Santa Catarina apresenta um grande histórico de acidentes geológicos e geotécnicos. Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED/UFSC, 2013) o estado com uma área que representa apenas 1,2% do território nacional registrou 12% de todas as catástrofes ocorridas no Brasil entre 1991 e 2010. Dentre os eventos naturais adversos citam-se: estiagens e secas (32%), inundações graduais e bruscas (40%), vendavais e/ou ciclones (15%), granizos (11%), além de tornados, geadas, incêndios florestais, erosão fluvial e marinha e dois movimentos de massa, que juntos somam 2% das ocorrências mais recorrentes.

Podem-se destacar os desastres ocorridos no ano de 2008, ocasionados por grandes deslizamentos de encostas, corridas de lama e processos erosivos-depositivos (NASCIMENTO; DELL'AVANZI; NETO, 2009).

Embora existam diversas pesquisas realizadas na região, ainda não foram feitas análises de suscetibilidade por meio do *Shalstab* na área de estudo escolhida. Desta forma, reconhecer a morfodinâmica de uma região que se expande urbanamente gera subsídio para uma melhor gestão ambiental.

Pela carência de informações geológico-geotécnicas, falta de qualificação dos responsáveis pelo planejamento urbano do Município com processamento de dados em ambiente SIG, há atualmente uma escassez de subsídios técnicos sumamente importantes para o planejamento da cidade em relação ao seu uso e ocupação na prevenção de desastres naturais. Problemática importante tendo em vista que este local já foi campo de diversos acontecimentos relacionados ao deslizamento de terras, mau uso e ocupação do solo e falta de planejamento urbano.

Tendo considerado a experiência do uso da cartografia na análise de ambientes suscetíveis a deslizamentos de terra em diversos municípios brasileiros, objetiva-se no presente artigo avaliar a suscetibilidade a escorregamentos rasos a partir do uso do modelo matemático *Shalstab* em um bairro do município de Brusque (SC).

Para chegar a este objetivo foi elaborado um mapeamento geotécnico preliminar em ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas) por meio de metodologias de Davison Dias (1995) e Higashi (2006), caracterizando os solos da área de estudo e estimando seus respectivos parâmetros geotécnicos por meio da literatura, tendo como resultado final o mapa de suscetibilidade.

2. MATERIAIS E MÉTODO

A metodologia adota para o entendimento do fenômeno de suscetibilidade aos deslizamentos de terra no bairro Azambuja em Brusque (SC) foi dividida em três etapas, organizadas pelo Fluxograma da Figura 1.

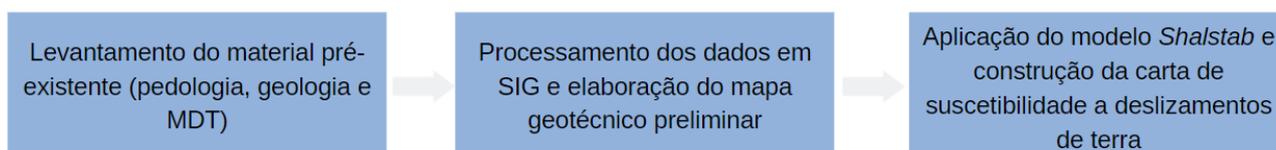


Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas

2.1 Caracterizações da Área de Estudo

A cidade de Brusque localizada na região sul do Brasil, no estado de Santa Catarina (Figura 2) compreende uma área territorial de aproximadamente 283,223 km². Segundo a Prefeitura Municipal de Brusque a população atual é de 134.723 habitantes.

É um importante destino turístico devido as suas belezas naturais e por seu grande potencial têxtil. Conhecida como a cidade brasileira do tecido, o município é povoado por imigrantes alemães, italianos e poloneses, desde o século 19 no ano de 1860.

Brusque teve um célere crescimento populacional, crescendo 40,62% entre 1980 a 1991, passando a apresentar 57.971 habitantes, sendo que Santa Catarina crescia 25,20%. Em 1996 o município conquistou o 3º lugar do estado, crescendo em dobro da média nacional (IBGE/2014), sendo estes dados a justificativa na escolha desta área.

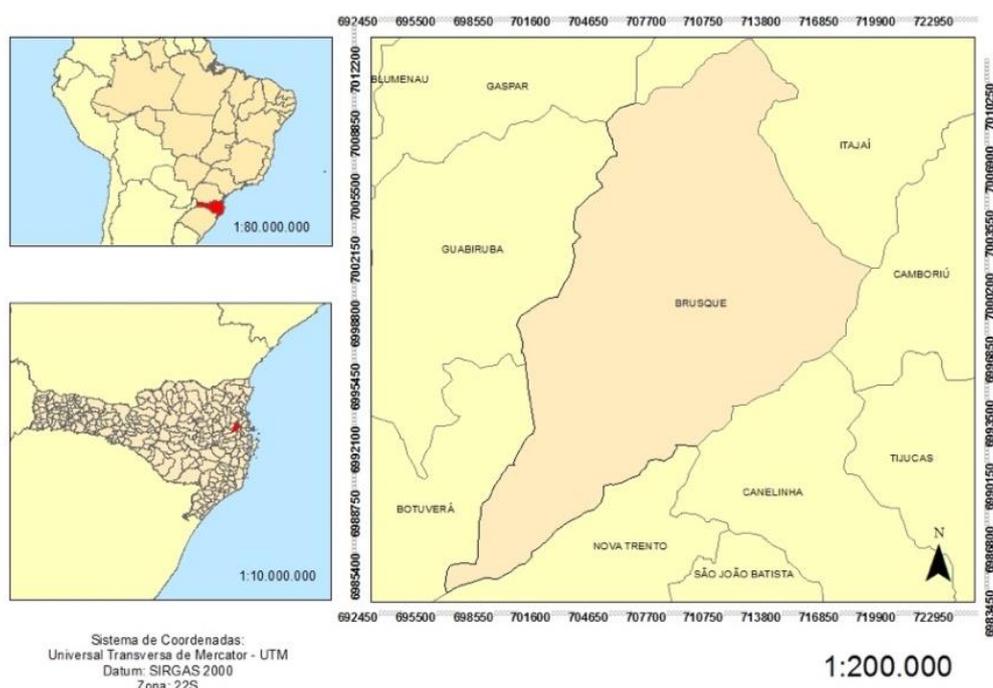


Figura 2. Mapa de localização do município de Brusque (SC)

Situado no Vale do Itajaí o município é palco de uma geologia heterogênea, produto de um processo de metamorfização. As rochas metamórficas são principalmente constituídas por xistos e filitos, e, nas partes mais baixas da cidade, é possível encontrar sedimentos quaternários, geralmente moles, bem como, zonas de deposição de areia e cascalho (MAFRA JR., 2007).

O relevo da cidade é formado basicamente por um grande vale, constituindo um enorme sistema natural de drenagem, formado por grandes morros e em sua parte plana, escoam o Rio Itajaí-Mirim, onde se localiza a parte central do município. Atualmente, a procura pela moradia se destina aos locais de maior altitude, por conta das grandes cheias que o município sofre em suas partes mais baixas, e, conseqüentemente, o surgimento de moradias em morros e áreas de encostas.

Com aproximadamente 4.173 habitantes, o bairro Azambuja contempla o principal hospital da cidade e, diversos pontos turísticos religiosos da região.

Segundo o Plano Diretor de Brusque, o bairro Azambuja está localizado no perímetro urbano da cidade. O local recebe migrantes de diferentes estados no país, tornando-se um bairro altamente populoso por se tratar de um barato mercado imobiliário. A Figura 3 localiza o bairro em relação ao município de Brusque.

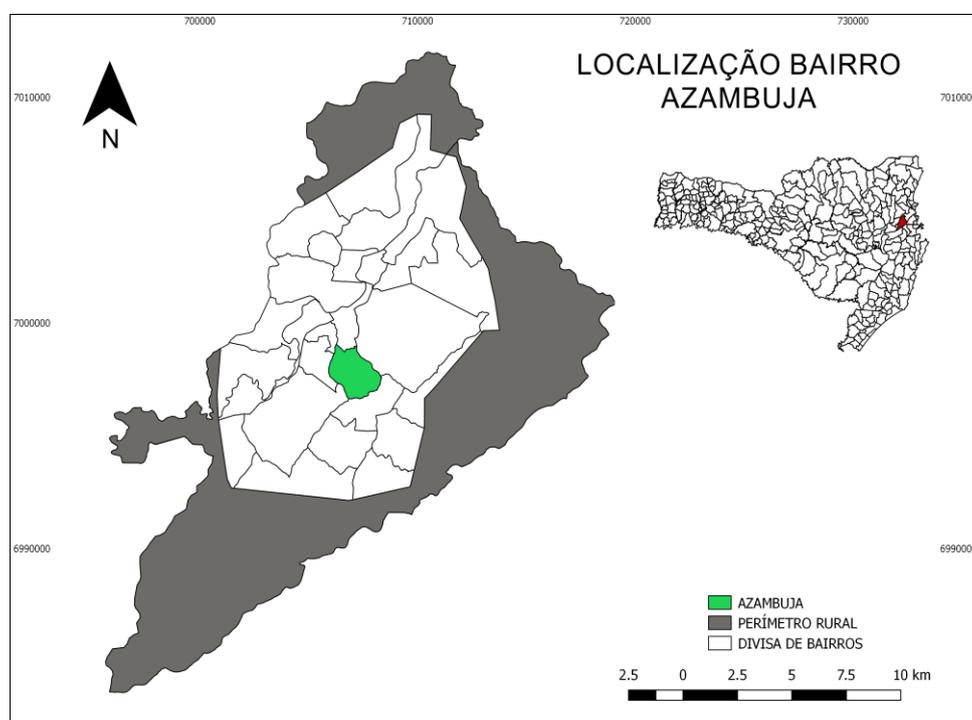


Figura 3 - Localização do bairro Azambuja

2.2 Coleta dos Dados Pré-existentes

A primeira etapa do trabalho foi coletar os principais mapas pré-existentes da região de Brusque (pedológico, geológico e MDT).

O mapa pedológico teve como fonte a Embrapa Solos, em uma escala de 1:250.000 elaborado no ano de 2005. O mapa geológico foi coletado por meio da CPRM (Serviço Geológico do Brasil) em uma escala de 1:500.000 elaborado no ano de 2014. E por fim, o Modelo Digital de Terreno foi acessado pelo SIGSC, disponível em: sigsc.sds.sc.gov.br com resolução espacial de 1,00 metro.

Em uma análise de Gomes *et al.* (2004 e 2005) os autores compararam diversos produtos cartográficos produzidos com diversas escalas de MDT e concluíram que a utilização da escala 1:50.000 com resolução de 10,00 metros é ideal para um bom resultado, ratificando o emprego da escala utilizada nesta pesquisa.

2.3 Processamento e Tratamento dos Dados em Ambiente SIG

Após o levantamento dos mapas preliminares, a sobreposição dos mapas pedológicos e geológicos foi feita no *software* QGIS (10.18) conforme metodologia desenvolvida por Dias (1995) e Higashi (2006), tendo um mapeamento das unidades geotécnicas da cidade. Foram excluídos atributos que não precisavam constar no mapa, deixando apenas o nome do material.

Com o mapa geotécnico do bairro Azambuja construído, a pesquisa seguiu com a caracterização geotécnica de cada unidade, incluindo para cada unidade, seus respectivos ângulos de atrito (ϕ), coesão (c') e peso específico (γ). Estes parâmetros foram retirados do trabalho de Schwarz (2016), onde o autor, na cidade de Ibirama (SC) por meio do ensaio *Bore Hole Shear Test (BHST)* e ensaios de granulometria definiu os parâmetros de entrada para o modelo em cada unidade geotécnica. A escolha pelo trabalho de Schwarz (2016) justifica-se por se tratar de um tipo de solo semelhante ao da área de estudo.

2.4 Aplicação do Modelo Shalstab

O *Software* utilizado para a aplicação do modelo *Shalstab* foi o *ArcMap*. O modelo matemático solicita quatro dados básicos de entrada: coesão, ângulo de atrito, peso específico e altura do solo.

Embora haja a possibilidade de desprezar o valor da coesão do solo (c') (DIETRICH; MONTGOMERY, 1998), segundo Melo e Kobyama (2018) 74% das pesquisas analisadas no Brasil tem considerado este parâmetro, sendo esta uma variável de resistência do solo, fazendo com que as classes de estabilidade aumentem (RAMOS *et al.*, 2003).

Estes parâmetros podem ser obtidos por três diferentes maneiras. Pelo *default* do *software*, ensaios de campo na área de estudo e valores de ensaios realizados em material semelhante ao do local em que está sendo aplicado o modelo.

Ramos *et al.* (2003) compara os produtos derivados pelo *default* e por dados obtidos em outras áreas de estudo e concluindo que os melhores resultados são provenientes desta última, justificando a escolha destes parâmetros para este trabalho, juntamente com a viabilidade temporal e financeira do estudo.

Tendo selecionado estes parâmetros, a altura do solo (z) em que constituiu a análise foi de 1,00 metro.

Com estes valores, foi possível compor o mapa de suscetibilidade a movimentos translacionais de terra no bairro Azambuja em Brusque (SC).

3. RESULTADOS

A partir do mapa de geologia e pedologia puderam-se delimitar as características relacionadas a estes elementos compreendem o bairro de Azambuja. A Tabela 1 traz a nomenclatura litológica e pedológica.

Tabela 1. Nomenclatura litológica e pedológica do bairro Azambuja

Litologia	Pedologia
Metapelito	Argissolo vermelho-amarelo
Monzogranito	Cambissolo háplico

Fonte: Embrapa Solos (2005) e CPRM (2014)

A litologia do bairro é formada basicamente por ranitoides e rochas metamórficas. A pedologia contempla Argissolos Vermelho-Amarelo, caracterizados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) em solos com acumulação de argila, com horizonte B textural nas cores vermelho e amarelo, e Cambissolo Háplico, caracterizado no processo de formação (transformação) com horizonte B incipiente, com simplicidade em suas características.

Com o cruzamento das cartas litológicas e pedológicas, segundo as metodologias mais usuais para solos tropicais deste tipo, encontra-se o mapeamento geotécnico preliminar (Figura 4).

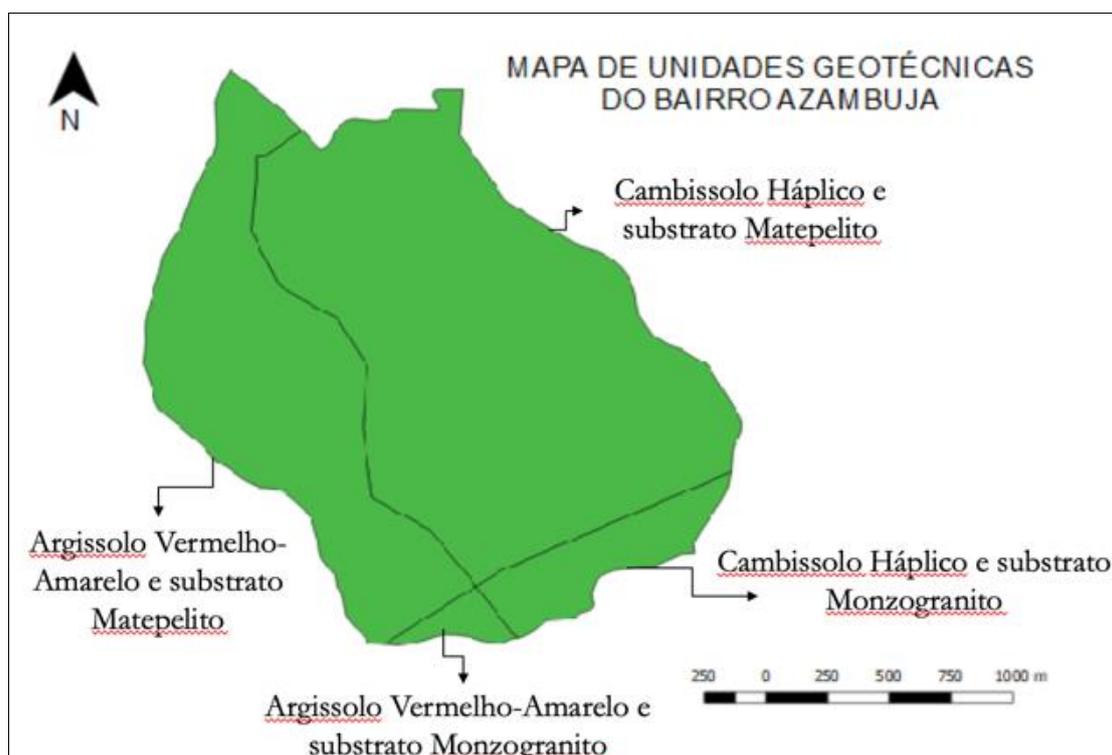


Figura 4 – Mapa geotécnico preliminar do bairro Azambuja

As unidades geotécnicas foram divididas em Cambissolo Háplico e substrato Metapelito, Cambissolo Háplico e substrato Monzogranito, Argissolo Vermelho-Amarelo e substrato Monzogranito e Argissolo Vermelho-Amarelo e substrato Metapelito. A Tabela 2 apresenta os parâmetros geotécnicos baseados no trabalho de Schwarz (2016) das presentes unidades geotécnicas.

Tabela 2. Parâmetros geotécnicos das Unidades Geotécnicas

Unidade Geotécnica	Ângulo de atrito (ϕ)	Coesão (c')	Peso específico (γ)
Cambissolo Háplico e substrato Metapelito	18,77	1,60	1811,70
Cambissolo Háplico e substrato Monzogranito	18,00	1,50	1581,80
Argissolo Vermelho-Amarelo e substrato Monzogranito	26,33	1,50	1782,30
Argissolo Vermelho-Amarelo e substrato Metapelito	22,53	1,70	1549,80

Fonte: Schwarz (2016)

A partir destes dados, foi gerado com o auxílio do modelo *Shalstab* o mapa de suscetibilidade a movimentos translacionais de terra, exibido na Figura 5.

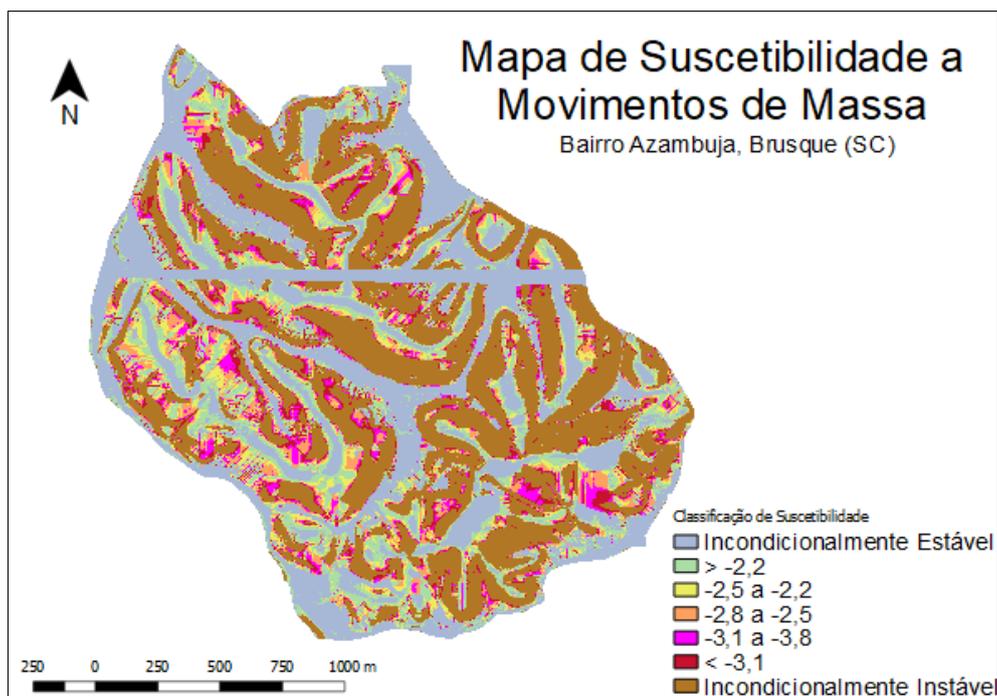


Figura 5 - Mapa de suscetibilidade a movimentos translacionais de terra no bairro Azambuja

O mapa é dividido em sete diferentes classes, com seus extremos em incondicionalmente estável e incondicionalmente instável. Michel *et al.* (2015) propuseram em seu trabalho uma classificação entre 4 diferentes classes, sendo estas, incondicionalmente estável, estável, instável e incondicionalmente instável.

Em uma análise entre os anos de 2015, 2016 e 2017, o bairro Azambuja apresentou 22 deslizamentos translacionais de terra, segundo a Defesa Civil de Brusque.

4. CONCLUSÕES

Existe uma clara correlação entre a ocorrência de deslizamentos na região em questão e o relevo da mesma, mostrando-se uma área com potencial elevado em número de instabilidades sofridas diante de adversidades temporais entre os anos de 1991 e 2010. Porém, é importante salientar que os resultados atendem apenas de um modo geral a pré-disposição de áreas de risco. Entre outros, muito mais específicos, o modelo Shalstab é recomendado especificamente para áreas menos urbanizadas e que não apresentem alta densidade demográfica. Ainda, é importante que sejam feitas amostragens de análise *in loco*, para que se possa visualizar as diferenças e os atuantes que o modelo empírico apresenta nos cálculos de mapa e no uso de SIG.

Portanto, essa ferramenta não é o melhor caminho a ser tomado, mas atende a proposta e entrega um mapa de suscetibilidade de movimentos de terra e mantém aplicações na pesquisa geotécnica no sul do país, sendo Santa Catarina o estado mais relevante em pesquisas com utilização do modelo *Shalstab* para estudos de suscetibilidade.

Como contribuições científicas e implicações gerenciais do estudo, este atinge diretamente o entendimento do meio geotécnico e urbano no que tange às condições de uso e ocupação do solo. Através destas análises pontuais, as campanhas de campo, por meio de ensaios geotécnicos pontuais poderão ser estabelecidas, objetivando especificar o detalhamento dos mapas de suscetibilidade frente aos deslizamentos gravitacionais de terra. Em vista disso, o conhecimento fica atrelado à continuidade do estudo e amostragens no bairro, com pontos críticos de coleta para garantir uma visão mais realista dos elementos de movimento de massa na cidade.

Sobre avanços sociais, este trabalho expõe a realidade de risco que o bairro estudado possui, servindo como base justificável para criação de políticas públicas que visem a otimização da moradia, tangíveis pela revisão do plano diretor do município.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Engenharia Civil, especificamente ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial (PPGTG) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao Centro Universitário de Brusque (UNIFEBE) pelo fornecimento do espaço físico para realização dos estudos e ao Instituto Brusquense de Planejamento (IBPLAN) pelo fornecimento de dados oficiais do município de Brusque/SC.

REFERÊNCIAS

- BAUM, R. L., SAVAGE, W. Z., & GODT, J. W. (2002). TRIGRS - a Fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis. *US geological survey open-file report, 424*, 38.
- DIAS, R. D. (1995). Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. *Revista do Instituto Geológico, 16*(esp), 51-55.
- IBGE (2014). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. *Rio de Janeiro*.
- GOMES, R. A. T., GUIMARÃES, R. F., CARVALHO JÚNIOR, O. A., & Fernandes, N. F. (2004). Análise da influência da escala cartográfica no resultado de um modelo de previsão de áreas críticas a deslizamentos. *Ciência e Natura, 1*, 269-286.
- GOMES, R. A. T., GUIMARÃES, R. F., CARVALHO JÚNIOR, O. A., & FERNANDES, N. F. (2005). Análise de um modelo de previsão de deslizamentos (SHALSTAB) em diferentes escalas cartográficas. *Rev Solos e Rocha, 28*(1), 85-97.
- GUIMARÃES, R. F. (2000). A modelagem matemática na avaliação de áreas de risco a deslizamentos: o exemplo das bacias dos rios Quitite e Papagaio (RJ). *Depto de Geologia, UFRJ, Rio de Janeiro*.
- HIGASHI, R. R. (2006). Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental.
- MAFRA JÚNIOR, C. D. S. (2007). Elaboração do mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque associado a um banco de dados geotécnico em ambiente de SIG.
- MELO, C. M., & KOBİYAMA, M. (2018). Aplicação do modelo SHALSTAB no estudo de escorregamentos no Brasil: revisão. *Revista Brasileira de Geomorfologia, 19*(4).
- MELO, C. M., MICHEL, G. P., & KOBİYAMA, M. (2018). Importância da caracterização geotécnica no mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no uso do modelo Shalstab. *Encontro Nacional de Desastres (1., jul. 2018, Porto Alegre). Anais. Porto Alegre: ABRHidro,[2018]*.
- MICHEL, G. P., GOERL, R. F., & KOBİYAMA, M. (2015). Critical rainfall to trigger landslides in Cunha River basin, southern Brazil. *Natural Hazards, 75*(3), 2369-2384.
- MONTGOMERY, D. R., & DIETRICH, W. E. (1994). A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water resources research, 30*(4), 1153-1171.
- NASCIMENTO, N. A., DELL'AVANZI, E., & NETTO, S. (2009, November). Acidentes geotécnicos de 2008 em Santa Catarina: uma visão mais abrangente. In *V Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas. São Paulo-SP*.

PACK, R. T., TARBOTON, D. G., & GOODWIN, C. N. (1999). SINMAP 2.0-A stability index approach to terrain stability hazard mapping, user's manual.

SCHWARZ, H (2016). . Modelagem da Suscetibilidade a Escorregamentos Translacionais rasos no Município de Ibirama-SC. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária, Universidade Estadual de Santa Catarina, Ibirama, 2016.

SILVA, E. L., GOMES, R. A. T., GUIMARÃES, R. F., & CARVALHO JÚNIOR, O. A. D. (2013). Emprego de modelo de susceptibilidade a escorregamentos rasos para gestão de riscos de desastres no município de Vitória-ES. *Sociedade & Natureza*, 25, 119-132.

WU, X., CHEN, X., ZHAN, F. B., & HONG, S. (2015). Global research trends in landslides during 1991–2014: a bibliometric analysis. *Landslides*, 12(6), 1215-1226.