

ATUALIZAÇÃO DO INVENTÁRIO DE MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA DO MUNICÍPIO DE INDAIAL, VALE DO ITAJAÍ, SC

Vicente H. F. Wetter ¹; Liliana S. Osako ²

Resumo – Deslizamentos ou movimento gravitacional de massa (MGM) são processos de queda ou descida de solo, rocha ou ambos, sob a ação gravitacional. Estes processos causam alterações significativas no meio físico e podem causar impactos e riscos à sociedade, tendo a chuva como principal agente deflagrador. O território de Santa Catarina enfrenta este tipo de desastre natural a muito tempo, em especial no Vale do Itajaí, onde ocorreu em novembro 2008 a precipitação de altos índices pluviométricos que desencadearam inúmeros deslizamentos. Este trabalho teve como objetivo atualizar o mapa de inventário de movimento gravitacional de massa do município de Indaial, localizado no Médio-Vale do Itajaí, além de apresentar dados dos deslizamentos, como quantidade, área total, média, densidade entre outras informações, que foram correlacionadas à geologia, área urbana e ao uso e ocupação do solo do município. A identificação de cicatrizes de deslizamentos foi realizada em ambiente SIG, com base na análise de fotografias aéreas (ortofotos), Modelos Digitais de Terreno (MDT) e Modelos Digitais de Superfície (MDS) de alta resolução espacial obtidos em 2010 no Levantamento Aerofotogramétrico realizado pelo governo do Estado de Santa Catarina.

Abstract – Landslides are processes of falling or sliding of soil, rock, or both, under gravity action. These processes significantly cause alteration in the physical environment and may cause several impacts, hazards and be a real threat to society. In such cases rainfall figures as the most important trigger agent. Santa Catarina's territory has been facing this type of natural disaster for a long time, especially in the region of Vale do Itajaí where, in November of 2008, several landslides occurred due to the high precipitation rates found at that year. This paper aims to update landslides inventory map of Indaial, a city located in the Itajaí middle valley, besides presenting landslides data such as: quality, total area, average area, density and other data, that were correlated to geology, urban area and soil usage and occupation in the city. The mapping of landslides marks was done on GIS environment, based on analysis of high spatial resolution aerial photography, digital elevation models (DEM) and digital terrain models (DTM), obtained from Santa Catarina Government Aerophotogrammetric survey that was done in 2010.

Palavras-Chave – Movimento gravitacional de massa; inventário; Indaial.

¹ Graduando, Universidade Federal de Santa Catarina, (48) 99172-6667, xd.vicente@gmail.com

² Geóloga., PhD, Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis - SC, liliana.osako@ufsc.br

1. INTRODUÇÃO

Deslizamentos ou movimento gravitacional de massa (MGM) são processos de queda ou descida de solo, rocha ou ambos, sob a ação gravitacional, resultando em formações geológicas de diferentes geometrias com limites laterais e uma superfície de ruptura, tendo a chuva como principal agente deflagrador. (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008). Tais processos merecem devida atenção por conta dos impactos e riscos que podem trazer à sociedade, visto que a sua ocorrência causa alterações significativas no meio físico.

O território do estado de Santa Catarina enfrentou diversos desastres naturais desde o início de sua colonização até os dias de hoje, e dentre eles destaca-se o episódio de novembro de 2008. No qual houve a precipitação de elevados índices pluviométricos concentrados em poucos dias, com um volume de precipitação acumulada que passou em 700% a média histórica precedidos de 3 meses de precipitação contínua (SEVERO *et al.*, 2011). Este evento ocorreu principalmente no leste do estado de Santa Catarina, na região do Médio-Vale do Itajaí, onde foram registradas inundações bruscas em diversas sub-bacias, além de centenas de movimentos de massa gravitacional, que afetaram tantas áreas urbanas quanto rurais, alterando significativamente a morfologia das encostas (SEVERO *et al.*, 2011).

Este trabalho teve como objetivo atualizar o inventário de movimento gravitacional de massa do município de Indaial, localizado no Vale do Itajaí, Santa Catarina, Brasil. O trabalho teve como enfoque a identificação de cicatrizes de deslizamento conservadas até o ano de 2010, abrangendo não só os deslizamentos consequentes do evento ocorrido em 2008 como também de eventos de menor grandeza ocorridos anterior e posteriormente.

A atualização do inventário de movimento gravitacional de massa foi realizada com a utilização de fotografias aéreas, modelo digital de terreno e de superfície de alta resolução espacial obtidas em 2010 e disponibilizadas pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável do estado de Santa Catarina (SDS). Com o auxílio de geotecnologias como cartografia digital, sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas (SIG) foi possível localizar, identificar e delimitar as cicatrizes de deslizamento. Após a identificação das cicatrizes efetuou-se a análise espacial da ocorrência de movimentos gravitacionais de massa com a geologia, zoneamento urbano e dados de uso e ocupação do solo.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1. Localização

A área de estudo corresponde ao município de Indaial, localizado no Vale do Itajaí, no estado de Santa Catarina. Segundo dados do IBGE (2019), o município possui uma área territorial de 430,799 km² (Figura 1). Os principais rios da região são o rio Itajaí-Açu e seu afluente rio Benedito, pertencentes à Bacia Hidrográfica do rio Itajaí-Açu.

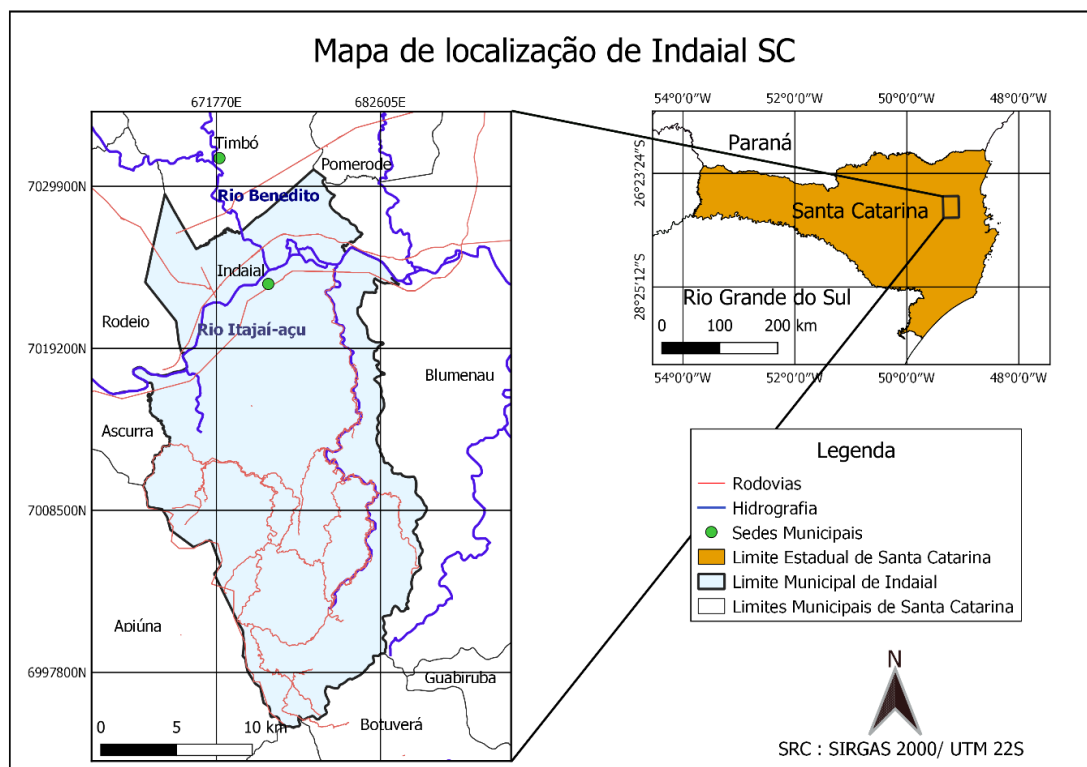


Figura 1. Mapa de localização da área estudada.

2.2. Caracterização geológica

Quanto à geologia (figura 2) e a geomorfologia, Indaial se destaca por planícies aluviais do Rio Itajaí-Açu e afluentes e por relevo residual de morros.

Segundo a CPRM (2014) a região norte do município encontra-se sobre terrenos do Complexo Granulítico de Santa Catarina, como os Ortognaisses Granulíticos Luís Alves, o Ortognaisse Pomerode, Suíte Rio da Luz e Complexo Ribeirão da Prata (CPRM, 2014). Na região sul do município ocorrem rochas metapelíticas e metapsamíticas da Formação Botuverá do Complexo Metamórfico Brusque, de período Toniano. Também na região sul ocorre o granitóide da Suíte Faxinal (CPRM, 2014). As rochas sedimentares e vulcânicas neoproterozóicas do Grupo Itajaí estão presentes em larga escala no perímetro do município. Por fim, os depósitos colúvio-aluvionares holocênicos vinculados à sedimentação dos rios Itajaí-açu e Benedito apresentam sedimentos argilosos, silticos, arenosos ou cascalhos inconsolidados, depositados no fundo dos vales (CPRM, 2014).

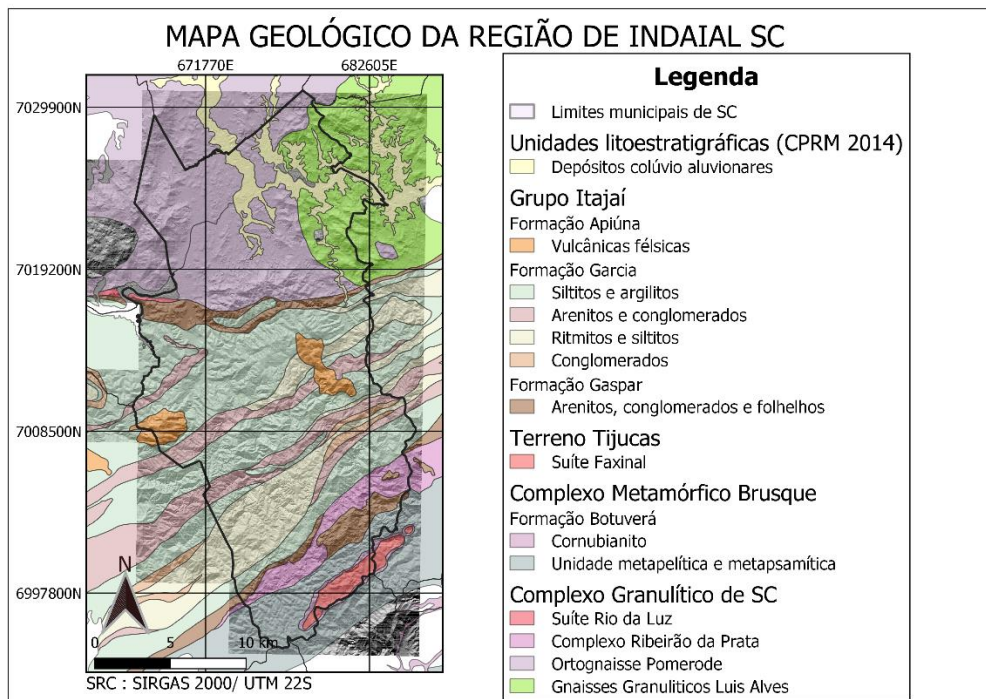


Figura 2. Mapa geológico da região de Indaial.

3. MATERIAIS E MÉTODO

Os produtos obtidos por sensores remotos utilizados neste trabalho foram o modelo digital de terreno (MDT), modelo digital de superfície (MDS) e fotografias aéreas ortorretificadas obtidos pelo Levantamento Aerofotogramétrico em 2010, com escala de 1:10000 pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável do estado de Santa Catarina (SDS). Tanto o MDT quanto o MDS possuem resolução espacial original de 1 metro, enquanto as ortofotos possuem resolução de 0,39 metros. Para a atualização do inventário de MGM, foi utilizado o programa QGIS versão “3.4.11 Madeira” e o complemento “Qgisthreeis” para observação tridimensional do relevo.

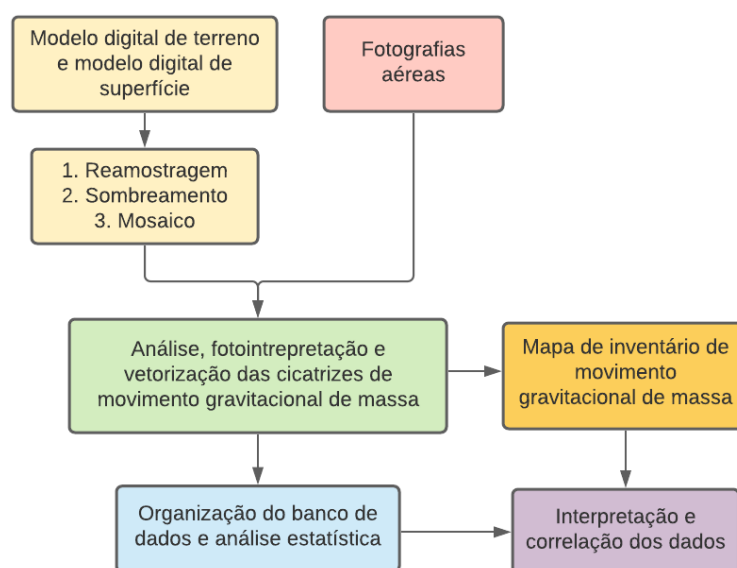


Figura 3. Fluxograma dos materiais e método aplicados para atualização do inventário de movimento gravitacional de massa do município de Indaial.

O processamento dos dados do MDT e MDS envolveu a reamostragem dos pixels de 1 metro para 2 metros, sombreamento com iluminação de 345° de azimute e mosaico.

Foi feita uma análise sistemática em todas as fotografias aéreas da área de estudo, para a identificação de cicatrizes de movimento de massa gravitacional a uma escala aproximada de 1:5000. A identificação das cicatrizes de deslizamento foi realizada como descrito em Guzzetti *et al.* (2012), com base em características como o formato e geometria, tamanho, profundidade, cor, tonalidade, textura, topografia do local, ausência de vegetação e até a presença de depósito de tálus em deslizamentos recentes. Após a identificação de uma possível cicatriz de MGM nas fotografias aéreas foi utilizando o complemento *Qgisthreeis*, para a visualização tridimensional da cicatriz nos MDT e MDS.

As cicatrizes de MGM identificadas foram vetorizadas manualmente no tipo geométrico polígono. Um banco de dados do inventário de MGM foi estruturado com os seguintes atributos: Coordenadas UTM, Datum, projeção, município, Unidade Federativa, bacia hidrográfica, ano de registro do deslizamento e a área e perímetro do MGM.

Após a identificação de MGM, foram realizados cálculos estatísticos das cicatrizes de movimentos de massa mapeados com o intuito de determinar as características como área, valores máximos e mínimos da área e densidade de deslizamentos. Foi realizada ainda a sobreposição de diferentes camadas para que os dados fossem analisados espacialmente, permitindo que os MGMS fossem relacionados à geologia, zoneamento urbano e dados de uso e ocupação do solo de Indaial.

Por fim foi gerado um mapa de inventário de deslizamento, classificado como inventário geomorfológico de evento, o qual tem o objetivo de amostrar os movimentos gravitacionais de massa ocorridos principalmente no evento de 2008 (GUZZETTI *et al.*, 2012). O mapa de inventário gerado possui uma escala de 1:10000, que segundo Guzzetti *et al.* (2012) seria um mapa de grande escala, obtido através da análise visual de diversas fotografias aéreas, modelos digitais de terreno e de superfície de alta resolução.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os principais resultados gerados pela pesquisa foram o mapa de inventário dos movimentos de massa gravitacional do município de Indaial e uma série de dados estatísticos relacionados às áreas de ocorrência das cicatrizes de MGM.

4.2 Dados estatísticos referentes ao mapeamento de cicatrizes no município de Indaial

Como mostra a tabela 1, foram quantificados cerca de 421 deslizamentos no município de Indaial, caracterizando uma densidade de deslizamentos (relação entre a quantidade de ocorrências de deslizamentos e a área do município em km²) de 0,9805. Além disso os deslizamentos possuem uma área média de 599,2 m², sendo o maior deslizamento encontrado com cerca de 19.612,6 m², e o menor 9,3 m² (Figura 4). Mais de 70% dos deslizamentos encontram-se no intervalo de área de 0 a 500 m², aproximadamente 13% no intervalo de 500 a 1000 m² e cerca de 17% são de maiores dimensões (entre 1000 a 20000 m²), embora esses sejam menos comuns.

Tabela 1. Dados estatísticos dos movimentos gravitacionais de massa do município de Indaial.

Número total de deslizamentos	421
Área total de deslizamento em m ²	252258,577
Maior área de deslizamento em m ²	19612,617
Menor área de deslizamento em m ²	9,335
Área do município de Indaial em km ²	429,334
% do município com deslizamento	0,05875
Densidade de deslizamentos no município	0,9805
Área média dos deslizamentos em m ²	599,2

Como expõe a tabela 1, uma porção de 0,05% do município possui deslizamentos, quando comparada a área de Indaial com a área total de MGMs (Figura 5). A maioria dos escorregamentos é de menor dimensão, porém a quantidade é significativa.

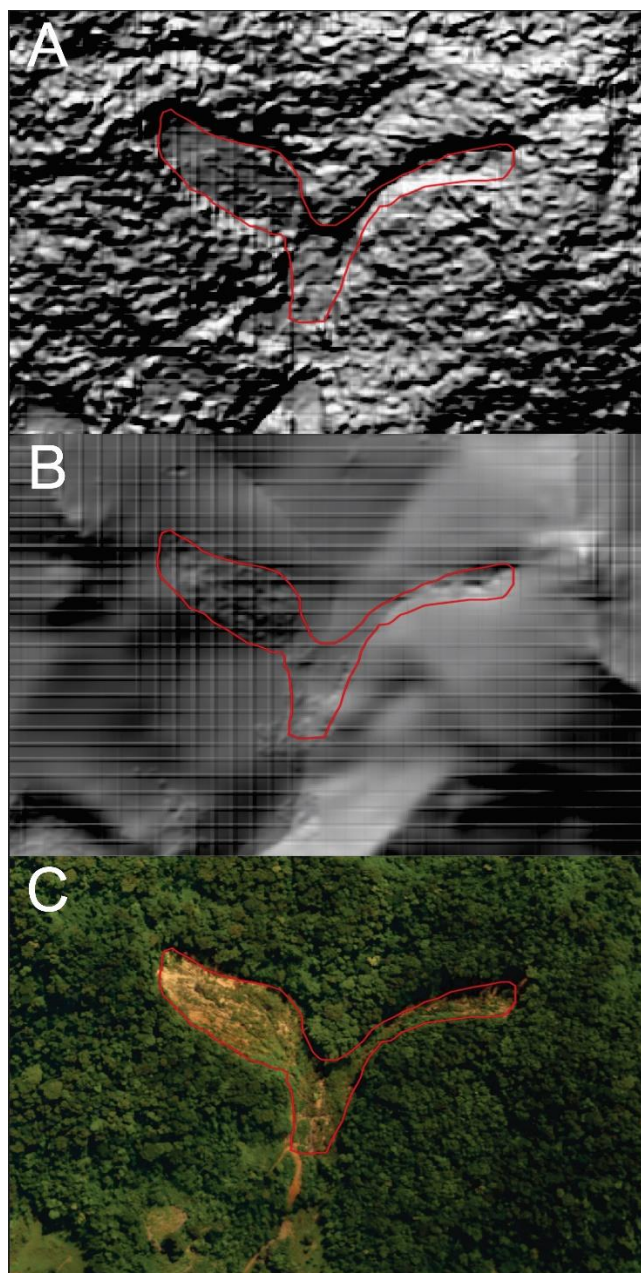


Figura 4. Cicatrizes de movimento gravitacional de massa identificadas utilizando MDS (A) MDT (B) e fotografia aérea (C)

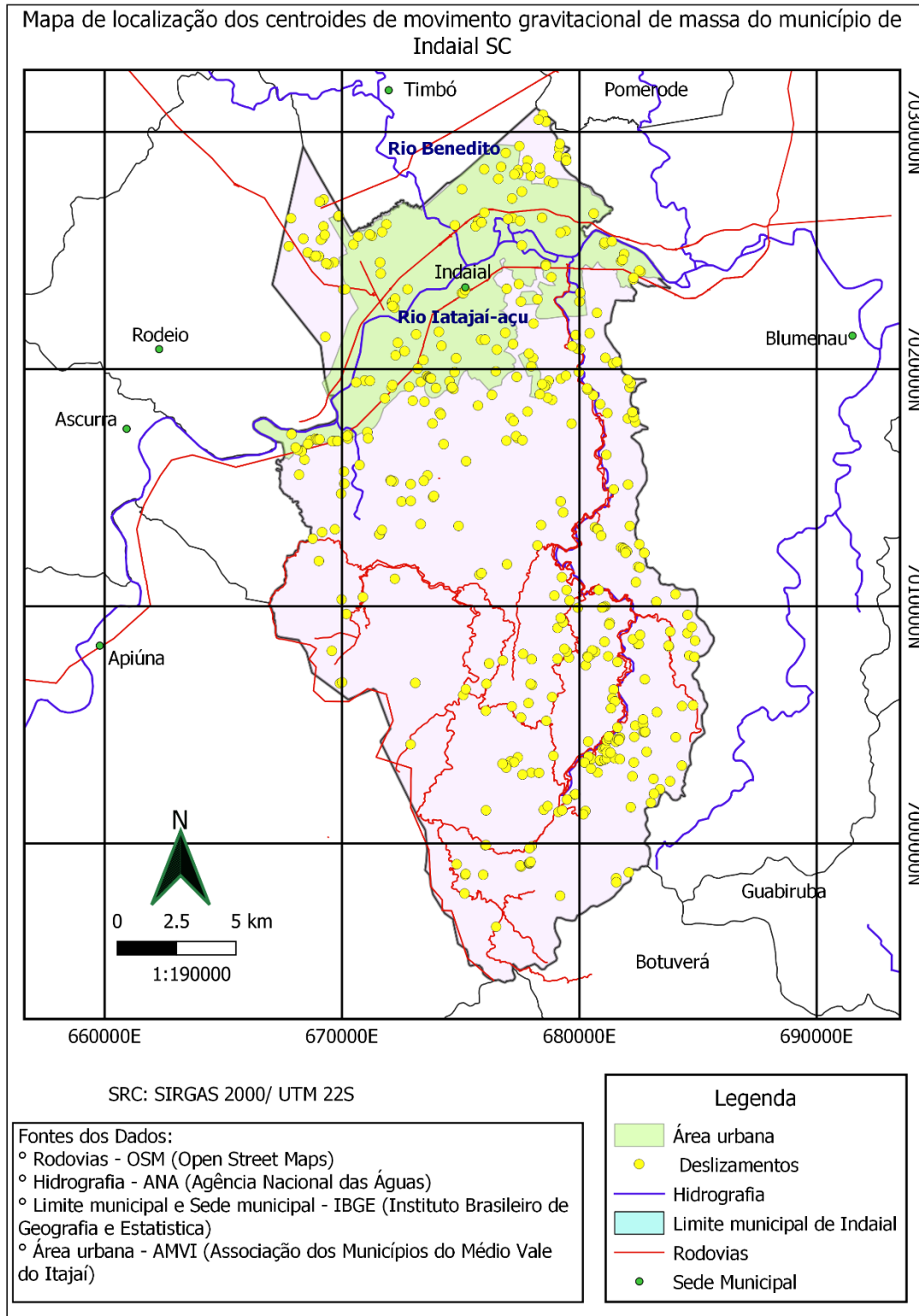


Figura 5. Mapa de localização dos centroides das cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa do município de Indaial, SC.

4.3 Ocorrência de MGM na área urbana de Indaial

A área urbana de Indaial corresponde a 87 km², equivalente a 20,27% da área do município (Tabela 2). Cerca de 110 escorregamentos foram quantificados nesta área, isso representa 26% do total dos deslizamentos de Indaial.

Tabela 2. Dados estatísticos dos movimentos gravitacionais de massa e do município de Indaial.

Área do município de Indaial em km ²	429,334
Área urbana em km ²	87,01
Área urbana em relação à área do município	20,27%
Área dos desliz. na área urbana em m ²	61073,681
% da área dos deslizamentos na área urbana	0,07%
Quantidade total de desliz. no município	421
Quantidade de deslizamentos na área urbana	110
nº de desliz. na área urbana em relação ao total de desliz. do mun.	26%

Quando comparada a área dos deslizamentos com a área do perímetro urbano os deslizamentos representam uma porção de 0,07%. Como apontado anteriormente, 26% dos MGMs se encontram na área urbana, sendo que ela ocupa 20% do município.

4.4 Ocorrência de MGM e a geologia da área de estudo

De acordo com a CPRM (2014), o município de Indaial contém cerca de 14 unidades geológicas distintas. A relação da quantidade de deslizamentos com as respectivas unidades é ilustrada na figura 6, expressa pela densidade de deslizamentos.

As unidades geológicas mais expressivas no município são as rochas sedimentares e vulcânicas do Grupo Itajaí, representando pouco mais da metade do município. Os siltitos, argilitos e ocasionais conglomerados representam 27% da área do município, os pelitos, siltitos e arenitos finos a médios 10% e os arenitos e conglomerados intercalados da Litofácies Arenitos Conglomeráticos cerca de 8%. Outras rochas com representatividade considerável são os gnaisses da unidade Ortognaisse Pomerode, do Complexo Granulítico de Santa Catarina, ocupando 23% do território. A unidade Ortognaisse Pomerode possui 128 cicatrizes, quase o dobro das cicatrizes nos siltitos e argilitos, que contém 68, mesmo possuindo menor área.

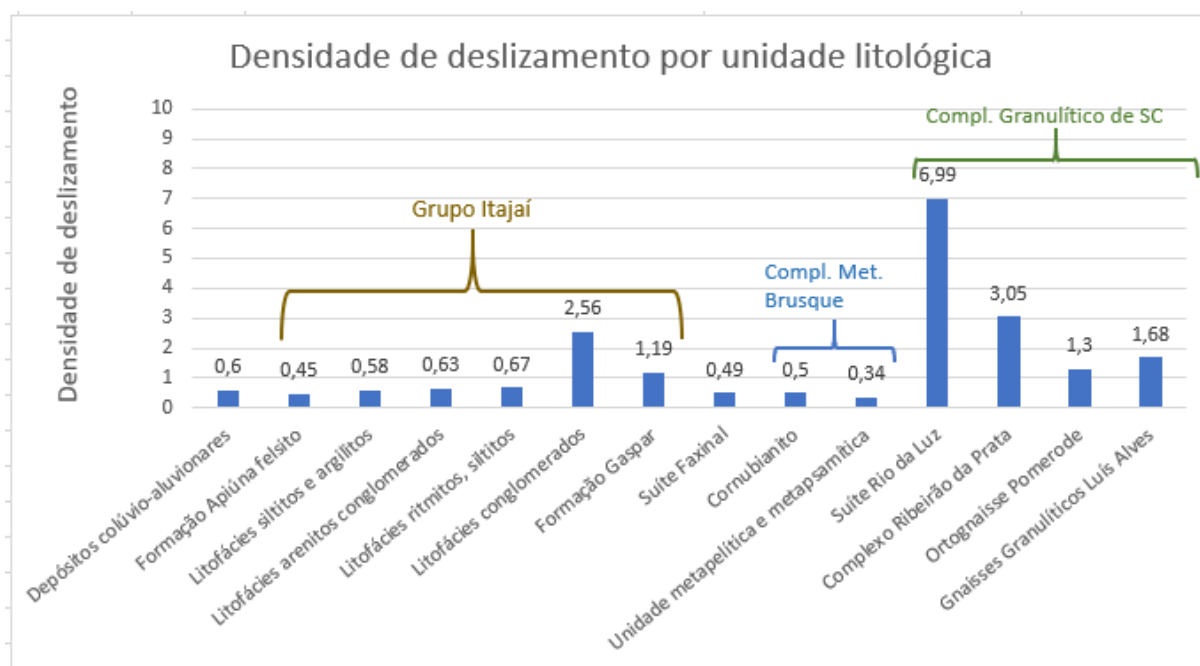


Figura 6. Gráfico representando a densidade de deslizamentos (quantidade de deslizamentos ocorridos na unidade pela área da unidade em km²) nas distintas unidades geológicas da área de estudo.

Como ilustrado na figura 6, a unidade litológica que possui maior densidade de deslizamento é a Suíte Rio da Luz, com 6,99, representada por sienogranitos e monzogranitos. Porém a Suíte Rio da Luz possui 0,715 km², menos de meio por cento da área do município, e apenas 5 deslizamentos. A unidade Ortognaisse Pomerode é a que mais possui deslizamentos, contendo 128, e uma densidade de 1,3 por conta da sua extensão. Dentre o Grupo Itajaí, os sedimentos conglomeráticos tem a maior densidade 2,56, com 11 deslizamentos. Ainda no Grupo Itajaí a litofácies com siltitos e argilitos possui 68 deslizamentos, com densidade de 0,58.

5. CONCLUSÃO

O evento de novembro de 2008, foi um dos mais catastróficos já registrados na região do Médio e Baixo Vale do Itajaí, e está diretamente relacionado a investigação e atualização de movimentos de massa gravitacional do presente trabalho. Tendo tal evento como o principal responsável pela maior parte das cicatrizes de MGM conservadas até o ano de aquisição das imagens.

Aliado a isso, o presente trabalho é de ampla utilidade, uma vez que mapas de inventário de movimentos de massa gravitacional registram a extensão dos deslizamentos em uma determinada área, e apontam informações que podem ser exploradas na investigação da distribuição, tipos, padrões, recorrência e dados estatísticos de MGM. Podem também determinar a suscetibilidade a escorregamentos, perigo, vulnerabilidade e risco, e ainda auxiliar no estudo da evolução de paisagens dominadas por esse processo (GUZZETTI *et al.*, 2012).

Foram quantificadas 421 cicatrizes de MGM no município de Indaial, representando uma densidade de deslizamento do município de cerca de 0,98. Os deslizamentos identificados são majoritariamente de pequena dimensão, mais de 70% possui área menor que 500 m². O mapa de inventário gerado neste trabalho permite realizar uma visualização espacial dos deslizamentos, no qual 26% encontram-se dentro do perímetro urbano. Quando associado à geologia da área de estudo, verifica-se que quase 40% dos MGMS ocorreram em rochas do Grupo Itajaí e a unidade litológica com mais ocorrência do município é a Ortognaisse Pomerode, com 128 deslizamentos.

Por fim, os objetivos desta pesquisa foram alcançados com êxito, inúmeros escorregamentos foram mapeados, o que possibilitou obter dados relevantes para que então se efetuassem cálculos estatísticos, tabelas e gráficos ilustrativos e confecção de mapas que apresentassem a relação dos movimentos de massa gravitacional com as diferentes características da região foco de estudo. Além disso, o projeto proporcionou o desenvolvimento de conhecimentos e experiência referente a aplicação de geotecnologias nas áreas da geociência, sendo de suma importância no decorrer da graduação em Geologia.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa Institucional de Bolsas de Estágio pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa, ao Laboratório de Processamento de Dados e Informações Georreferenciadas e à Liliana S. Osako pela orientação e por todo o suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa geológico do estado de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM, 2014. Escala 1:500.000.

GUZZETTI, F., MONDINI, A.C., CARDINALI, M., FIORUCCI, F., SANTANGELO, M., CHANG, K.T. (2012). *Landslide inventory maps: new tools for an old problem*. Earth-Sci. Rev. 112 (1), 42–66.

HIGHLAND, L.M., & BOBROWSKY, PETER (2008), *The landslide handbook – A guide to understanding landslides*: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129p.

IBGE (2020) “IBGE (2020) “Área da unidade territorial: Área territorial brasileira” in <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/indaial/panorama>; Último acesso: 20/02/2021.

SEVERO, D. L. *et al.* *Análise hidrometeorológica do evento de 2008, no Vale do Itajaí – Santa Catarina*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. Anais [...]. Blumenau: ABrh, 2011. p. 1-15.