

USO DE MAPEAMENTOS PLANIALTIMÉTRICOS PARA ANÁLISE DE MODIFICAÇÕES NAS ENCOSTAS APÓS OCORRENCIAS DE MOVIMENTOS DE MASSA: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO ARRAIAL DO OURO, GASPAR – SC

Graziela Maziero Pinheiro Bini^(a), Edna Lindaura Luiz^(b), Jéssica Gerente^(c), Joel Robert Georges Marcel Pellerin^(d)

^(a) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Santa Catarina (UFSC), grazielabini@gmail.com

^(b) Profa. Dra. do Departamento de Geografia, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), elinluiz@uol.com.br

^(c) Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), jessica.gerente@inpe.br

^(d) Prof. Dr. do Departamento de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pellerin@cfh.ufsc.br

Eixo: GEOGRAFIA FÍSICA E DESASTRES NATURAIS

Resumo

A análise da forma da encosta antes e após a ocorrência de um movimento de massa pode subsidiar o entendimento dos condicionantes e mecanismos do processo, além de auxiliar na definição de tipologias. O objetivo deste trabalho foi realizar uma comparação entre mapas planialtimétricos de detalhe da bacia do Arraial do Ouro (Gaspar/SC) de antes e depois da ocorrência de movimentos de massa deflagrados em 2008, visando verificar possíveis modificações na forma das encostas. Destaca-se que apesar dos distintos processos de obtenção dos mapeamentos utilizados, eles mostram configurações das curvas de nível muito semelhantes. Foram identificadas 91 cicatrizes e em pelo menos 60 delas foi possível verificar mudança de forma, as quais foram também observadas em trabalhos de campo. As modificações das curvas de nível no interior de 4 cicatrizes entre os dois mapeamentos foram analisadas em detalhe no trabalho.

Palavras chave: Geometria de encostas; Cicatriz de movimento de massa, Análise digital do terreno.

1. Introdução

Os movimentos de massa são processos efetivos de mudança das encostas, uma vez que representam a remoção e a deposição de grandes quantidades de materiais de uma só vez. Sua frequência de ocorrência é normalmente pequena em relação à atuação das águas correntes, no entanto, as transformações na paisagem são geralmente mais significativas. A deposição de sedimentos pode modificar também o fundo do vale, o padrão do canal fluvial e até o nível de base local.

Esses processos de encosta são fruto de suas condições ambientais, muitas vezes, independente da ação humana (CROZIER, 1986). Os mecanismos, materiais envolvidos e proporções do processo são



condicionados pela natureza e organização das formações superficiais (solos, regolitos, depósitos de sedimentos), pelos parâmetros da encosta (declividade, comprimento, forma), pela hidrologia da encosta e pelas condições climáticas e sísmicas (precipitações e terremotos) (SELBY, 1993).

A comparação das formas da encosta antes e após a ocorrência de um movimento de massa pode servir de subsídio para o entendimento dos condicionantes e mecanismos do processo, além de auxiliar em uma classificação de tipologia. As modificações nas encostas em função da ocorrência de movimentos de massa, especialmente forma, podem ser estimadas a partir de mapeamentos planialtimétricos e/ou modelos digitais de elevação de detalhe realizados antes e depois do evento.

As encostas da bacia do arraial do Ouro em Gaspar, Santa Catarina, sofreram inúmeros movimentos de massa em novembro de 2008 em razão de chuvas continuadas e intensas. As feições deixadas na paisagem após o desastre permitem verificar se é possível encontrar modificações na forma dos setores atingidos pelos movimentos de massa a partir da comparação de um mapeamento planialtimétrico de detalhe antes do evento e um levantamento aerofotogramétrico com geração de modelo digital de terreno (MDT), também em escala de detalhe, realizado alguns anos após o desastre.

A referida bacia localiza-se entre as coordenadas 26°48'54" e 26°05'36" lat. S e 48°54'00" e 49°00'00" long. W com área de 45,78 km², sendo ela uma das bacias afluentes do rio Itajaí-Açu. Seus terrenos são constituídos por rochas gnáissicas onde é modelado um relevo de morros e montanhas com vales geralmente encaixados no alto e médio vale do rio, com exceção do baixo vale, onde é possível observar o desenvolvimento de uma planície fluvial mais extensa. A maior parte da bacia apresenta-se florestada, com algumas manchas nas encostas com pastagens plantadas. A agricultura é mais praticada no baixo vale, em terrenos da planície.

Tendo em vista a disponibilidade de produtos topográficos em escalas detalhadas, o objetivo deste trabalho foi realizar uma comparação entre estes produtos a fim de analisar possíveis mudanças na geometria (forma e declividade) de encostas que foram atingidas pelos movimentos de massa deflagrados em 2008.

2. Materiais e Métodos

Como esta pesquisa visa identificar as mudanças no relevo que foram decorrentes dos movimentos de massa ocorridos no mês de novembro de 2008, utilizaram-se duas bases cartográficas, uma anterior ao desastre e outra posterior. O mapeamento planialtimétrico anterior foi realizado no início do ano de 2008, possuindo escala 1:10.000 e curvas de nível com equidistância de 10 m. Ele foi realizado para a Prefeitura de Gaspar/SC, a partir de levantamento aerofotogramétrico com posterior trabalhos de reambulação, aerotriangulação e restituição das fotos aéreas com recobrimento de 60%. O levantamento posterior ao

desastre foi produzido a partir Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2013) com escala 1:10.000, realizado em 2012 pela empresa ENGEMAP (Engenharia Mapeamento e Aerolevantamento Ltda.). Deste levantamento, foram gerados dois produtos: ortofotos digitais com resolução espacial de 39 cm e MDT com precisão altimétrica e resolução espacial de 1 metro, gerado por estereoscopia a partir das ortofotos.

A rede de drenagem derivada da base planialtimétrica da prefeitura do município de Gaspar foi sobreposta aos produtos citados para auxiliar na análise das ocorrências de movimentos de massa. Muitas destas ocorrências, como observado em campo, tiveram os materiais mobilizados entrando em cursos d'água próximos e se tornando fluxos densos com grande poder de escavação enquanto desciam as encostas.

O mapeamento das cicatrizes da área de estudo foi realizado mediante observações de campo e interpretação visual a partir de uma imagem RapidEye de março de 2009 com resolução espacial de 5 metros. Do total de cicatrizes mapeadas, foram escolhidas, após minuciosa análise visual, quatro delas para discussão neste trabalho, considerando-as como as mais significativas em termos de alteração da forma de relevo.

Para verificar a mudança de forma das encostas foram utilizadas as curvas de nível do mapeamento planialtimétrico da Prefeitura de Gaspar de antes do evento (ano 2008) e curvas de nível com mesma equidistância (10 m) de depois do evento (ano 2012) extraídas do MDT do aerolevantamento do estado por meio da ferramenta *Contour* do ArcGIS 10.2. Apesar de terem sido comparadas curvas resultantes de restituição fotogramétrica com curvas geradas por processo de extração automática, considerou-se viável tal comparação pelo fato do dado de entrada para a extração automática possuir resolução espacial de 1 metro e ser compatível com uma escala de 1:10.000. Em outras palavras, apesar do processo de extração de curvas de nível de modo automático possuir diversas limitações, devido ao grande detalhamento do MDT utilizado entende-se que tal comparação é viável.

3. Resultados e Discussões

Quando foram sobrepostas as curvas de nível oriundas das bases cartográficas utilizadas, observou-se um deslocamento, apesar delas terem configurações muito semelhantes nos dois mapeamentos. Provavelmente, isto se deve à diferença entre métodos de aquisição de ambos os produtos topográficos, o pode ser um limitante do método adotado, porém, não existem outros dados disponíveis. O mais antigo é oriundo de um mapa planialtimétrico restituído convencionalmente de fotografia aérea e outro de um modelo digital de terreno elaborado a partir da correlação automática entre os pontos homólogos de fotografias aéreas digitais com alta resolução espacial (0,39cm). Como a representação das formas está condicionada à equidistância das curvas de nível (SANTOS *et al.*, 2008), as curvas obtidas de



levantamentos mais precisos na sua origem apresentam maior detalhamento das feições. Percebe-se, no entanto, que as feições topográficas são quase sempre semelhantes nas duas bases, apesar da precisão dos dois levantamentos ser diferente.

No total, foram mapeadas 91 ocorrências de movimentos de massa na bacia do Arraial do Ouro, localizadas especialmente em seu alto e médio vale, onde o relevo é mais movimentado e as encostas são mais longas. Há muitas cicatrizes com forma alongada, com zonas de ruptura, passagem e depósitos, configurando corridas de detritos. Foram observados casos em que os sedimentos de diferentes movimentos de massa formavam um único depósito a jusante na encosta.

A **Figura 1** mostra as cicatrizes de movimento de massa mapeadas na bacia do Arraial do Ouro-Gaspar/SC e a identificação daquelas que foram escolhidas para uma descrição detalhada neste trabalho.

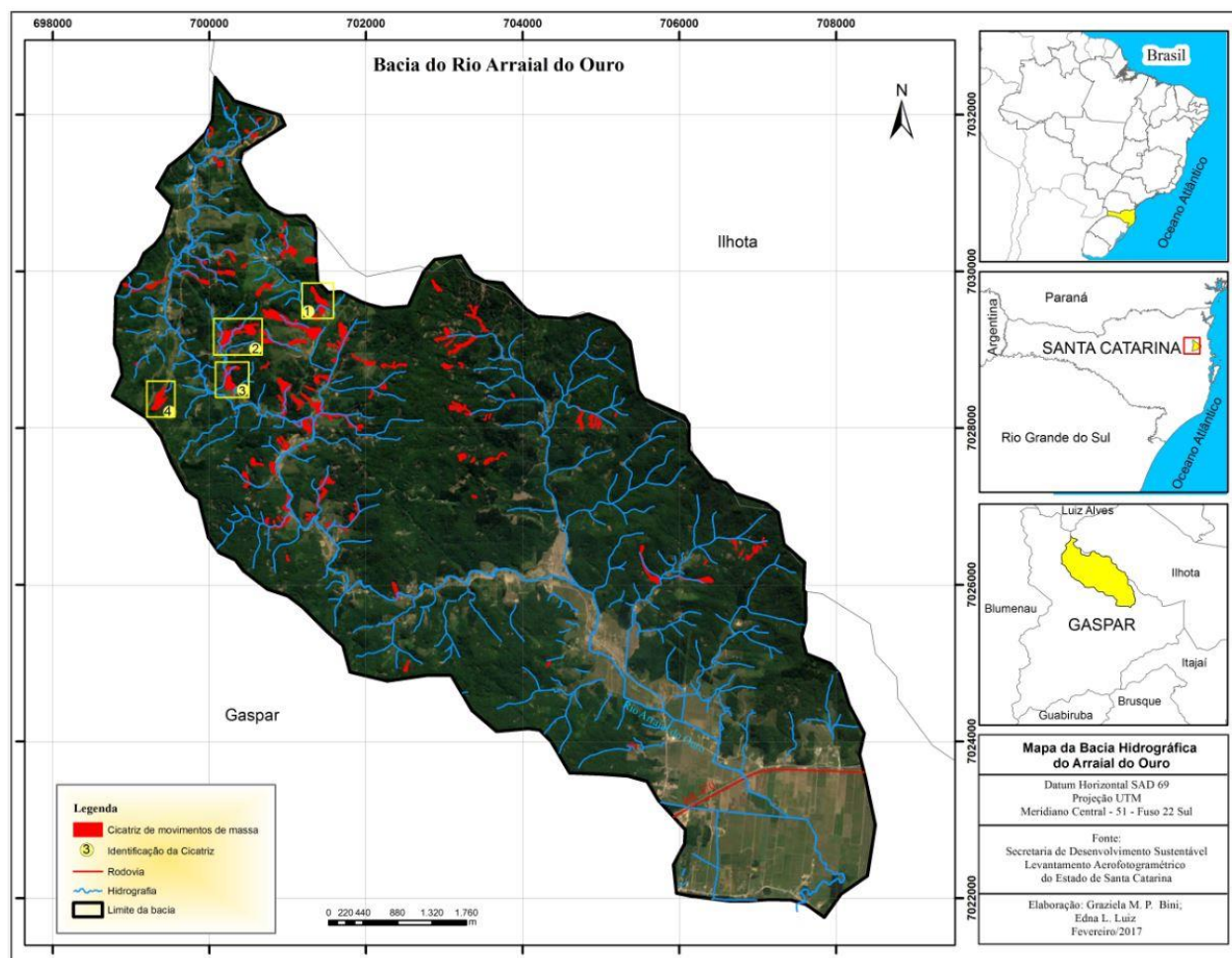


Figura 1- Localização das cicatrizes na bacia do rio Arraial do Ouro. Notar o quadro indicativo para as quatro cicatrizes abordadas neste trabalho, situadas na porção noroeste da bacia.



A **Tabela I** apresenta as modificações encontradas na forma das encostas em função dos movimentos de massa de novembro de 2008 a partir da comparação dos dois conjuntos de curvas de nível dos dois levantamentos aerofotogramétricos.

Tabela I - Alteração na forma da encosta por número de cicatrizes

Forma de relevo	Número de cicatrizes
Mudança pouco significativa	31
Mudança significativa	21
Mudança muito significativa	39
TOTAL	91

Das 91 cicatrizes de movimentos de massa identificadas, percebe-se que aproximadamente 43% do total apresentaram mudanças muito significativas no formato das curvas de nível entre os dois mapeamentos analisados. Foi observado que segmentos convexos passaram a retos ou côncavos, provavelmente por terem sofrido ruptura de solo. Também foi observado que setores côncavos se tornaram convexos, o que seria explicado por terem recebido os depósitos de colúvio, uma vez que estes setores normalmente estavam nas posições de jusante, ao longo da cicatrizes.

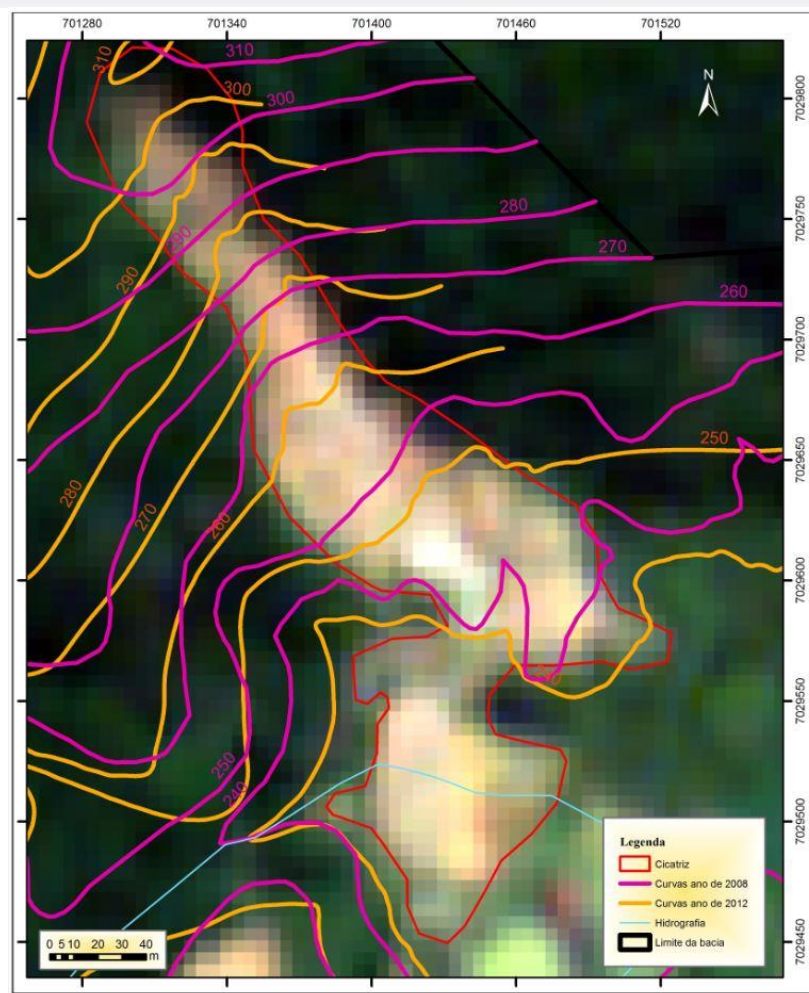


Figura 2 – Cicatriz 1

A **Figura 2** representa a Cicatriz 01 de estudo, com coordenadas de um ponto central no seu interior de 701257,465 m E e 7029764,642 m N (UTM fuso 22 Sul) e extensão (comprimento) de 397,54 metros e área de 28.586,59 m². A feição apresenta um deslizamento translacional que ocorreu em um segmento reto da encosta. O material deslizado seguiu a linha de drenagem, evoluindo para uma corrida de detrito. Como material transportado observa-se manto de alteração muito alterado misturado a blocos rochosos. Todo o material foi depositado a jusante. A feição da cicatriz apresenta uma porção mais inclinada à cabeceira e mais suave em direção de jusante até uma planície suspensa. Em relação às curvas de nível, nota-se mudança na forma de relevo a montante, onde é possível observar a mudança de curvas de nível retas em 2008 para curvas de nível indicando concavidade em 2012. Esta concavidade está associada à zona de ruptura e de passagem dos sedimentos rompidos. Na curva de 240 m, a jusante, também é possível



perceber mudança na forma de relevo posterior ao desastre, pois ela passou a mostrar configuração de convexidade acentuada no mapeamento de 2012.

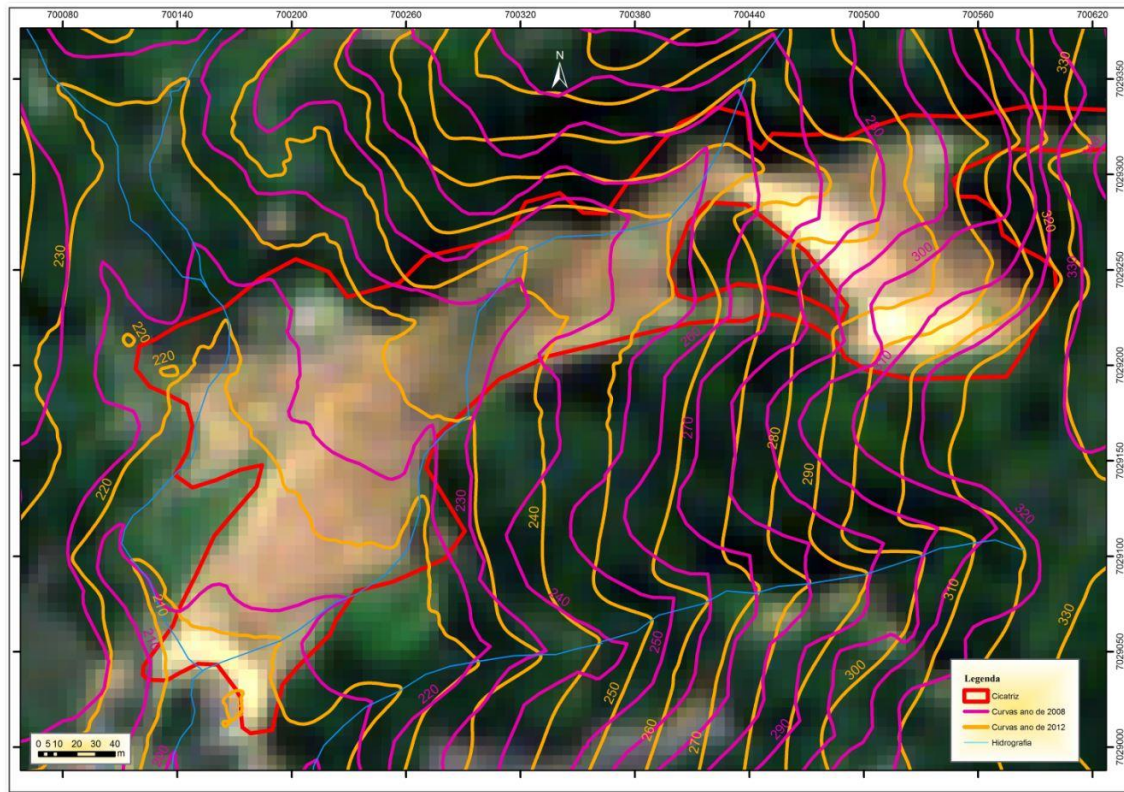


Figura 3 – Cicatriz 2

A **Figura 3** apresenta a cicatriz 02 de estudo, com coordenadas de um ponto central no seu interior de 700511,815 m E e 7029262,472 m N (UTM fuso 22 Sul), extensão (comprimento) de 596,50 metros e área de 23.727,37 m². A ruptura aconteceu próximo ao divisor de águas. A zona de passagem está numa área de colinas de 5 a 6 metros de altura. O material deslizado contornou esta área, mas chegou a subir nas encostas das colinas, descendo lateralmente por elas. Depois, continuou seu trajeto se encaixando na linha de drenagem. As curvas de nível de 2008 mostram segmentos convexos ou retos na zona onde houve a ruptura, enquanto o traçado das curvas no mapeamento de 2012 indica forma côncava. O setor de ruptura se transformou em uma cabeceira de drenagem. Na zona de passagem dos sedimentos, é possível observar que houve aumento da concavidade dos terrenos. Já na zona de deposição, a forma passou de côncava para convexa quando se observa o traçado da curva 230 m no mapeamento de 2008 e no mapeamento de 2012.

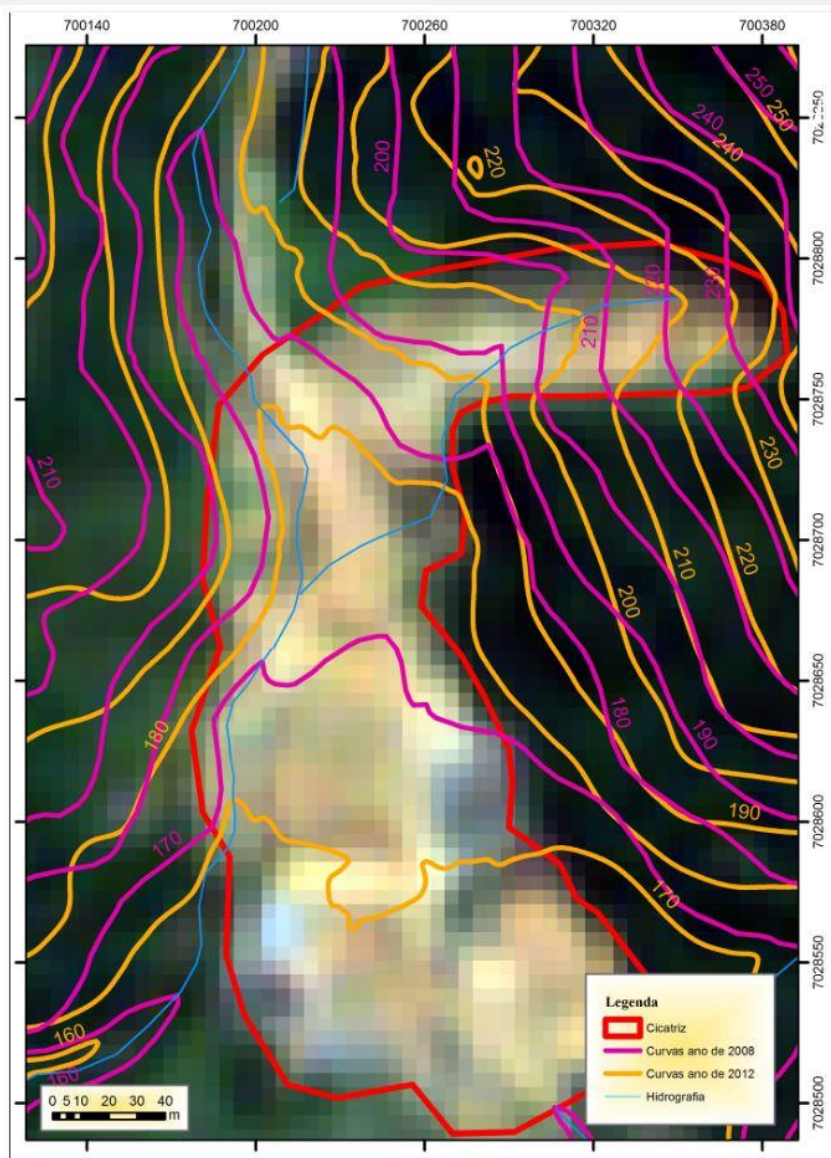


Figura 4 – Cicatriz de estudo 3

A **Figura 4** mostra a Cicatriz 3 de estudo, com coordenadas de um ponto central no seu interior de 700323,03 m E e 7028781,119 m N (UTM fuso 22 Sul), extensão (comprimento) de 444,29 metros e área de 35.270,14 m². O movimento de massa ocorreu em um setor reto a convexo da encosta segundo observação das curvas de nível de 2008. Com a ruptura e saída de material, este setor passou a apresentar forma côncava. Os materiais mobilizados chegaram a um talvegue e ganharam maior mobilidade e poder de erosão por onde passaram. Na zona de deposição, também houve mudança de forma, pois os materiais depositados modificaram a forma original (em 2008) de côncava para convexa (em 2012), isto pode ser observado pela comparação do traçado das curvas de cota 170 m nos dois mapeamentos.

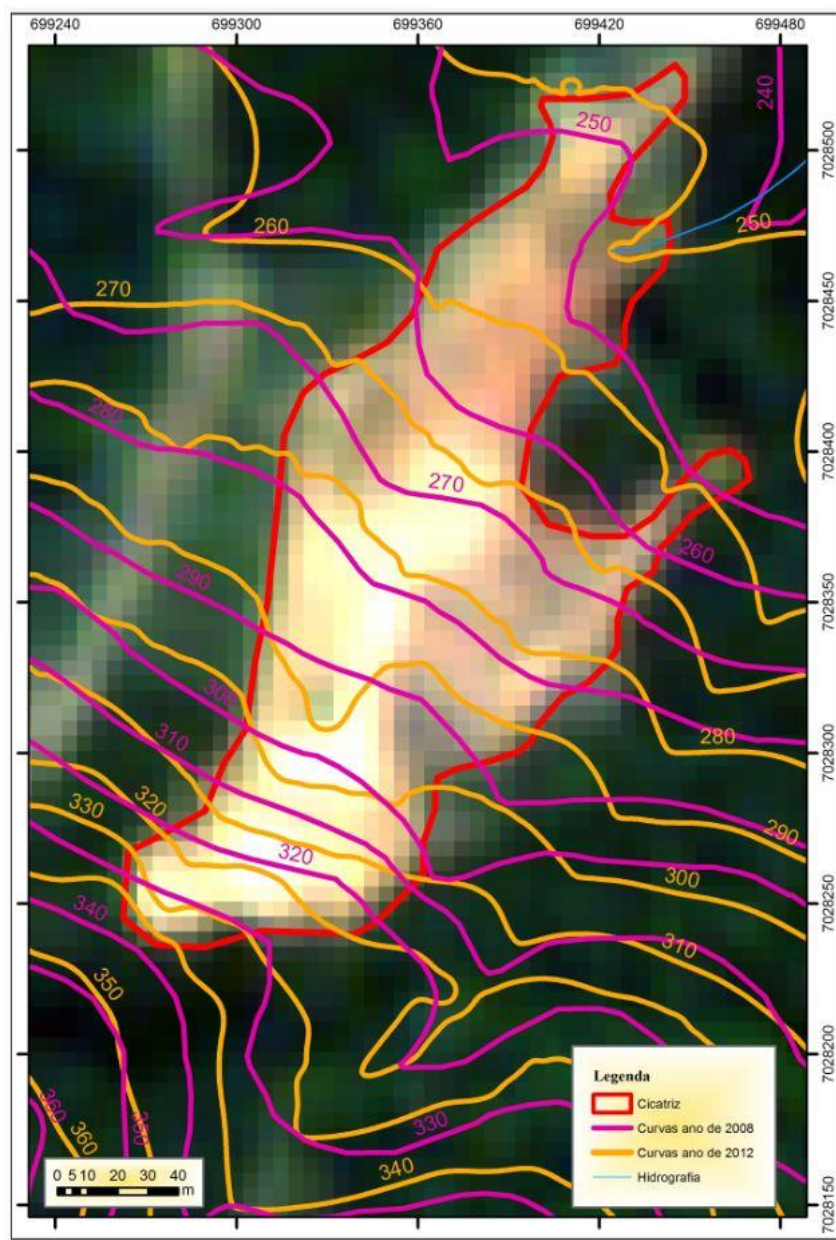


Figura 5 – Cicatriz de estudo 4

A **Figura 5** apresenta a cicatriz 4 com coordenadas de um ponto no seu interior de 699370,076 m E e 7028376,662 m N (UTM fuso 22 Sul), extensão (comprimento) de 335,22 metros e área de 23.727,37 m². A ruptura ocorreu em um setor reto da encosta como pode ser observado pelo traçado das curvas de nível no mapeamento de 2008. A mudança da forma da zona de ruptura pode ser bem visualizada pelo traçado indicando concavidade das curvas com valores entre 290 m e 340 m no mapeamento posterior as

ocorrências de movimentos de massa. Esta concavidade mostra que o material deslizado escavou o terreno. Na curva de nível 260 m do mapeamento do ano de 2012, nota-se que ela representa uma forma convexa que não corresponde ao que havia no traçado do mapeamento de 2008. Esta diferença indica a deposição sedimentos.

4. Considerações Finais

Este trabalho comparou produtos topográficos gerados anterior e posteriormente ao desastre de 2008. Este evento gerou muitas mudanças na configuração das encostas da área de estudo. Por meio da análise de forma, foi possível verificar que houve de fato modificações nestas características geométricas das encostas, as quais foram também observadas em trabalhos de campo. Isto mostra o potencial da utilização de dados topográficos para o estudo de movimentos de massa e confirma que para estudos de modelagem que visem recriar as condições anteriores ao desastre é necessário que sejam utilizadas curvas de nível ou MDTs anteriores ao evento estudado, uma vez que dados posteriores detalhados, como o MDT do ano de 2012 utilizado neste trabalho, conseguem representar bem as modificações geométricas do terreno derivadas dos processos de movimentos de massa.

Percebe-se mudança nas formas de encosta e isto contribui para estudos de movimentos de massa, no entanto, nem todos os municípios dispõem de cartas planialtimétricas que possam ajudar em estudos como o deste trabalho. Além disso, apesar da geração de bons resultados, é necessário ter atenção ao se utilizar bases altimétricas derivadas de diferentes métodos, uma vez que sempre há variações, as quais nem sempre são em razão de processos geomorfológicos, mas sim da própria aquisição do dado topográfico. Por fim, ressalta-se que trabalhos de campo são necessários tanto para validação quanto para o auxílio na interpretação das análises digitais.

5. Bibliografia

CROZIER, M. J. **Landslide**: causes, consequences & environment. London: Crom Helm Ltd., 1986.

SANTA CATARINA. SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: ENGEMAP, 2013, p. 80- 85, Documento Digital.

SANTOS, M. S. T.; SILVA, E. B. S. da; SOUZA, A. de M. et al. **Geração e análise estatística de Modelo Digital de Elevação (MDE) com dados de GPS em tempo real (GPS/RTK)**. 2008. Disponível em: <https://www.ufpe.br/estudosgeologicos/paginas/edicoes/2008181/2008181t08.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2017.

SELBY, M. J. **Hillslope materials & processes**. New York: Oxford University Press, 1993.