

ESCORREGAMENTOS EM ENCOSTAS FLORESTADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MÃE LUZIA, TREVISO – SANTA CATARINA, BRASIL

William de Oliveira Sant Ana
Centro Universitário – UNISATC
Centro Tecnológico, Criciúma, SC, Brasil
william.santana@satc.edu.br

Álvaro José Back
Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, SC, Brasil
ajb@unesc.net

Gean Paulo Michel
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, SC, Brasil
gean.michel@ufrgs.br

Nilzo Ivo Ladwig
Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, SC, Brasil
ladwig@unesc.net

Danrlei De Conto
Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, SC, Brasil
danrleideconto@hotmail.com

Mauro dos Santos Zavarize
Centro Universitário UNISATC
Centro Tecnológico, Criciúma, SC, Brasil
mauro.zavarize@satc.edu.br

RESUMO

O estado de Santa Catarina apresenta vasto histórico de movimentos de massa, especialmente escorregamentos translacionais rasos. A Bacia Hidrográfica do rio Mãe Luzia, localizada no município de Treviso, drena 22,39 km² da escarpa do Planalto Sul Brasileiro, e possui registros de escorregamentos em encostas florestadas. O objetivo consistiu em relacionar movimentos de massa com práticas agropastoris pretéritas e ocorrência de incêndio na área de estudo. Para isso, foi pesquisada a relação da floresta com o ciclo d'água, sistema radicular e estabilização de encostas, bem como superfícies de solo-repelência, formadas a partir de incêndios florestais. A partir de fotografias aéreas de 1957, foi possível correlacionar espaço-temporalmente os movimentos de massa com práticas antrópicas do passado. Como resultado, foram interpretadas 337 cicatrizes de escorregamentos, em sua maioria sobre a classe de vegetação em estágio sucessional avançado, que haviam, entretanto, passado por corte seletivo de árvores e incêndio florestal. Concluiu-se que as práticas de uso do solo desenvolvidas de maneira intensiva, contribuíram para supressão de árvores de grande porte, o que em teoria, ancoraria o solo e auxiliaria na sua estabilização. Assim, áreas florestadas que sofreram interferência antrópica têm menor eficácia para conter movimentos de massa, embora contribuam para diminuir sua frequência.

Palavras-chave: Florestas. Incêndios. Uso do solo. Movimentos de massa.

LANDSLIDES IN FORESTED SLOPES IN THE MÃE LUZIA RIVER WATERSHED, TREVISO – SANTA CATARINA STATE, BRAZIL

ABSTRACT

The state of Santa Catarina has a vast history of mass movements, especially shallow translational landslides. The Mãe Luzia River Basin, located in the municipality of Treviso, drains 22.39 km² of the escarpment of the Southern Brazilian Plateau, and has records of landslides on slopes. The objective was to relate mass movements with past agricultural

practices and the occurrence of fire in the study area. For this, the relationship between the forest and the water cycle, root system and slope stabilization was investigated, as well as soil-repellency surfaces, formed from forest fires. From aerial photographs from 1957, it was possible to correlate space-time movements of mass with anthropic practices of the past. As a result, 337 landslide scars were interpreted, mostly on the vegetation class in an advanced successional stage, which had, however, undergone selective cutting of trees and forest fire. It was concluded that the land use practices developed intensively, contributed to the suppression of large trees, which in theory, would anchor the soil and assist in its stabilization. Thus, forested areas that have suffered anthropic interference are less effective in containing mass movements, although it contributes to reducing their frequency.

Keywords: Forests. Fires. Use of the soil. Mass movements.

INTRODUÇÃO

Desastres naturais caracterizam-se por impactar de maneira adversa e com determinada intensidade um sistema social ou ecossistema vulnerável, o que acarreta em danos e prejuízos que excedem a capacidade da comunidade ou sociedade atingida em reorganizar-se (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2012). Segundo Ludwig e Mattedi (2016), percebe-se, a nível mundial, que nas últimas décadas tem aumentado o número de eventos dessa natureza, o que pode indicar dois distintos processos: a intensificação das ocorrências ou maior capacidade de registro.

Os movimentos de massa podem resultar em riscos, relevantes em várias partes do mundo, acarretando consequências negativas para os ecossistemas naturais e a sociedade (DEL SOLDATO et al., 2018). Conhecer o histórico de movimentos de massa em uma região estudada é um passo importante para aferir métodos de mapeamento, conhecer a magnitude e frequência de fenômenos, reconhecer locais sujeitos a desastres, etc. Assim, as pesquisas relacionadas as diferentes tipologias de movimentos de massa ainda não se esgotaram (VAN DEN EECKHAUT et al., 2012). Eventos de movimentos de massa em Santa Catarina datam de muitos anos atrás, quando já provocavam uma série de desastres socioeconômicos (MARCELINO; NUNES; KOBAYAMA, 2006) e ambientais. O Atlas de Desastres Naturais de Santa Catarina (2014) reforça que o estado reúne uma grande quantidade e diversidade de eventos. Estes eventos implicam em grandes prejuízos econômicos e altos custos sociais, particularmente, os custos totais dos movimentos de massa de novembro de 2008 (concentrado em municípios do Vale do Itajaí, como Blumenau e Ilhota), foram calculados pelo Banco Mundial em R\$ 4,75 bilhões, o que na época representava 2,67% do Produto Interno Bruto do Estado (CEPED-UFSC, 2013). “Os setores sociais (habitação, saúde, educação e cultura) foram os mais afetados, com perdas e danos estimados em R\$ 1,74 bilhão, sendo que, apenas no setor habitacional, os custos associados foram de R\$ 1,4 bilhão” (CEPED-UFSC, 2016, p.9).

No interior do município de Treviso (SC), a sub-bacia formada pelas cabeceiras de drenagem do rio Mãe Luzia, apresenta registros de centenas de cicatrizes de escorregamentos. Um número expressivo destas cicatrizes foi registrado por voo aerofotogramétrico de 1957, sendo que, para este evento, existiu associação com uso inadequado do solo durante décadas, sucedido por evento de chuvas intensas. Ghazipour e Simpson (2016), utilizando-se de fotografias aéreas, realizaram estudos movimentos de massa no Irã, a partir de um inventário composto por 335 cicatrizes de escorregamentos. Em adição, no ano de 1951, um grande incêndio destruiu a cobertura vegetal das encostas, o fogo em floresta, que de acordo com De Bano (2000) e Neary; Ice; Jackson (2009), cria uma superfície de repelência para água, ou solo-repelência, uma descontinuidade que favorece o escoamento superficial em detrimento da infiltração.

Os estudos de Neary; Ice; Jackson (2009) apresentaram que o fim abrupto de atividades agropastoris, numa região do sudeste dos Estados Unidos, há cerca de 80 anos, deixou marcas de uso histórico da terra, mesmo que agora estes locais se encontrem florestados. Estes solos continuaram a apresentar cicatrizes antigas de escorregamentos, sulcos erosivos e maiores propensões para novas ocorrências, baixo conteúdo de carbono, alterações nas comunidades biológicas e perdas por lixiviação. Cálculos executados pelos autores revelam que o legado das atividades pretéritas foi responsável, em até 80%, pela perda sedimentar da região analisada.

Associando os estudos de caso dos autores supracitados com os escorregamentos em encostas nas cabeceiras do rio Mãe Luzia, o objetivo deste trabalho é relacionar a inerente suscetibilidade natural para escorregamentos na área com possíveis agentes potencializadores dos movimentos de massa no contexto local, a exemplo das antigas práticas de uso do solo realizadas pelos colonizadores, bem como os efeitos do grande incêndio de 1951.

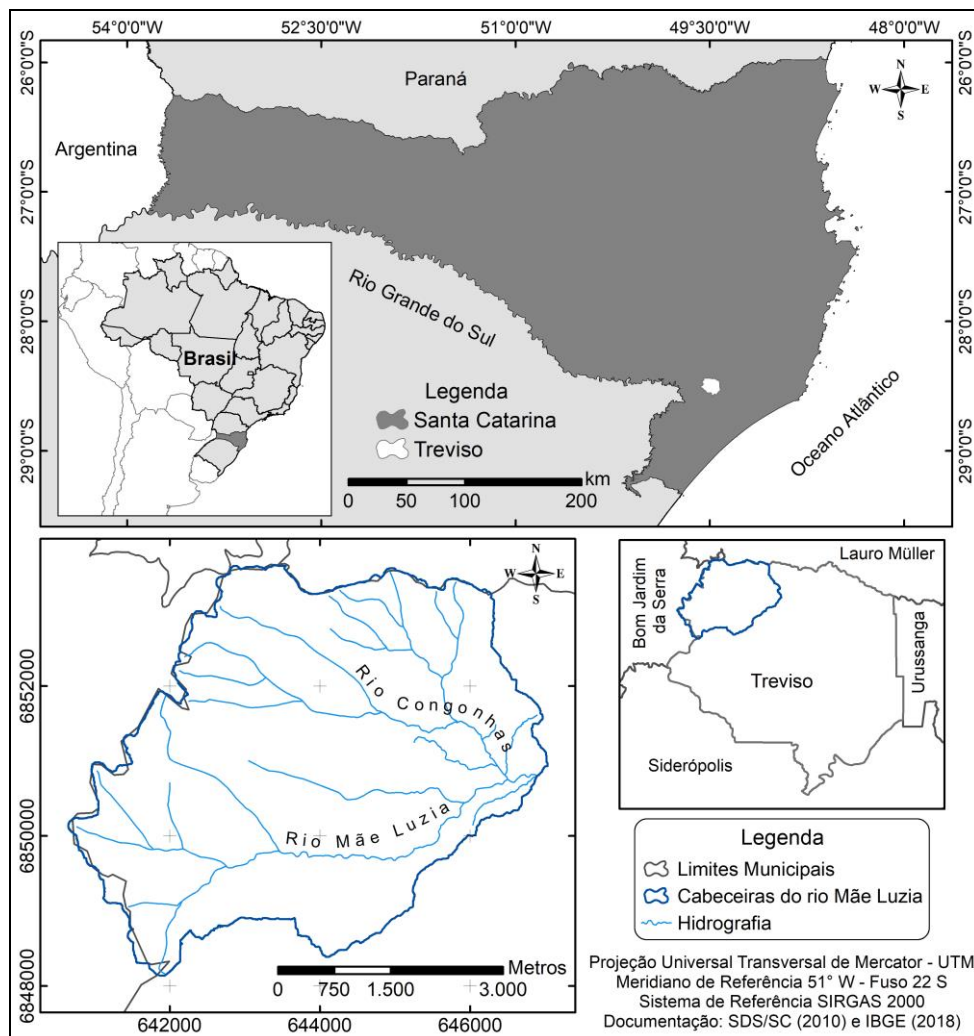
Para atingir a proposição deste trabalho, foram elencadas leituras que abordaram a relação entre florestas (KOBAYAMA; MICHEL; GOERL, 2012), efeito da vegetação na estabilidade geral das encostas (MICHEL, 2013), raízes e estabilização de encostas (REUBENS et al., 2007), incêndios e solo-repelência, além dos relatos locais (DALL'ALBA, 1986) do incêndio de 1951. Para tanto, se faz necessário discorrer sobre o contexto dos desastres naturais no estado de Santa Catarina, o papel das florestas no ciclo hidrológico, estabilização de encostas, incêndios florestais e solo-repelência. Ao final é apresentado um quantitativo de cicatrizes de escorregamentos incidentes nas diferentes classes de uso/cobertura do solo no ano de 1957, para as cabeceiras do rio Mãe Luzia.

METODOLOGIA

Área de Estudo

A sub-bacia formada pelas cabeceiras do rio Mãe Luzia possui 22,39 km² e localiza-se na Bacia do rio Araranguá (BHRA), município de Treviso, no Sul do estado de Santa Catarina (Figura 1).

Figura 1 - Treviso (SC): Localização da sub-bacia nas cabeceiras do rio Mãe Luzia.



Fonte - Autores (2021).

No segmento montante ao núcleo urbano do município de Treviso, o leito do rio enquadra-se como alto curso, exibindo um padrão mais retilíneo, orientado de oeste para leste. Segundo Krebs (2004), este

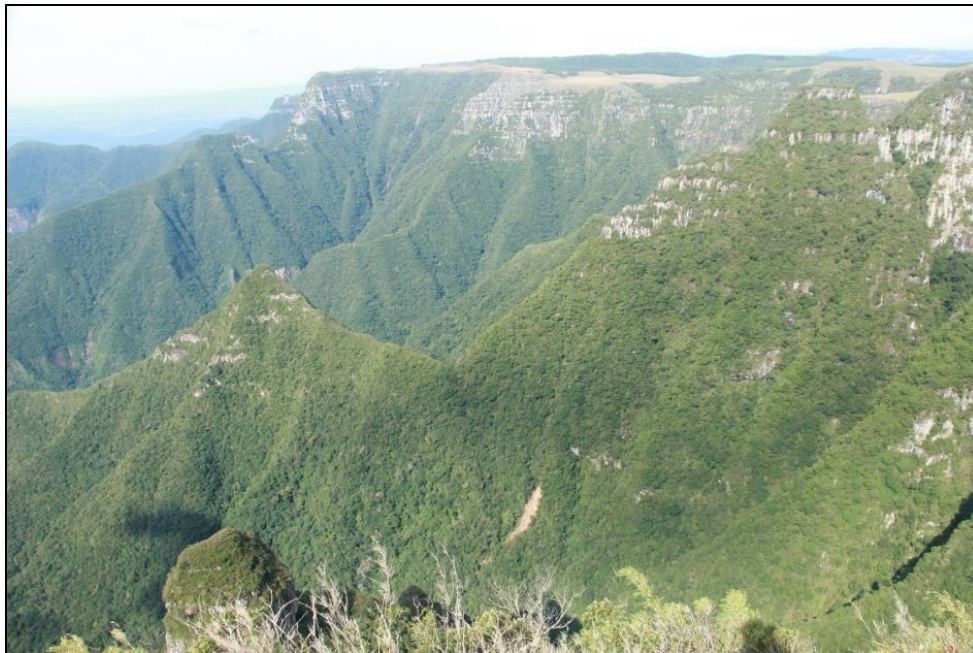
comportamento deve-se ao aumento do gradiente do canal, na ordem de 0,107 m/m, denotando uma grande capacidade de transporte sedimentar (BROOKFIELD, 1998). Mesmo assim, próximo de rupturas de declive, que sustentam diferentes níveis de base local, é observada grande quantidade de seixos e blocos, ou seja, de sedimentação aluvial junto a calha do rio principal, até mesmo no sopé de suas cabeceiras, situadas na Serra Geral, que de fato é a escarpa do Planalto Sul Brasileiro (DUARTE, 1995).

A litologia da área é complexa, relacionada a estratigrafia da borda leste da Bacia do Paraná, em muito detalhada pela Coluna White (WHITE, 1988). Nas cabeceiras do rio Mãe Luzia, nas cotas inferiores, aflora a Formação Estrada Nova, recoberta pela Formação Rio do Rasto, Formação Botucatu, sendo capeadas pelas rochas extrusivas vulcânicas da Formação Serra Geral (KREBS, 2004).

De acordo com Ker et al. (1986), nos terrenos escarpados de alta declividade se desenvolvem solos pedregosos, contudo com horizonte orgânico bem desenvolvido, dada a biomassa existente na forma florestal. Estes solos rasos estão associados com afloramentos de rochas vulcânicas (basaltos) que recobrem a Bacia Sedimentar do Paraná, contexto geológico da área. Nas partes menos íngremes e na base da escarpa ocorrem cambissolos, geralmente produto da pedogênese ocorrida sobre depósitos de tálus.

Nos locais de maiores declividades os solos tendem a ser rasos, ainda que capazes de sustentar uma vegetação de Floresta Ombrófila Densa (PIAZZA et al., 2016), Submontana e Montana (VIBRANS et al., 2013) dado o clima subtropical úmido (Figura 2).

Figura 2 - Treviso (SC): Aspecto do relevo escarpado e recoberto por floresta na área de estudo, 2019.



Fonte - Autores (2019).

Associando-se às características fisiográficas das cabeceiras do rio Mãe Luzia, tais como litologia variada, alta declividade, feições geomorfológicas das encostas e solos rasos, com o regime de chuva, acentuado pela orografia, pode-se afirmar que esta área de estudo é altamente suscetível a escorregamentos. Dentre eles, destacam-se os rasos translacionais, de contato solo-rocha, ou outra superfície de descontinuidade, sendo deflagrados durante eventos de pluviosidade intensa.

Climaticamente a região sul catarinense enquadra-se no subtipo Cfa (ALVARES et al., 2013), atribuído à ampla distribuição espacial dos sistemas de circulação atmosférica durante todos os meses do ano (NIMER, 1989), com um total anual de 1.624 mm de precipitação - Normal de chuvas de 1960-91. Conforme Monteiro e Furtado (1996) no sul catarinense predomina o clima de latitudes subtropicais. Menciona-se, também, a influência da orografia na formação e distribuição de chuvas, mais comum entre os meses de setembro e março, tendo em vista a circulação atmosférica de ventos de direção nordeste,

úmidos, alimentados pela Massa Tropical Atlântica, que está posicionada sobre o Atlântico Sul. Esses ventos se defrontam com a escarpa da Serra Geral e formam chuvas orográficas. Há também que ser registradas as chuvas convectivas, típicas dos meses mais quentes do ano.

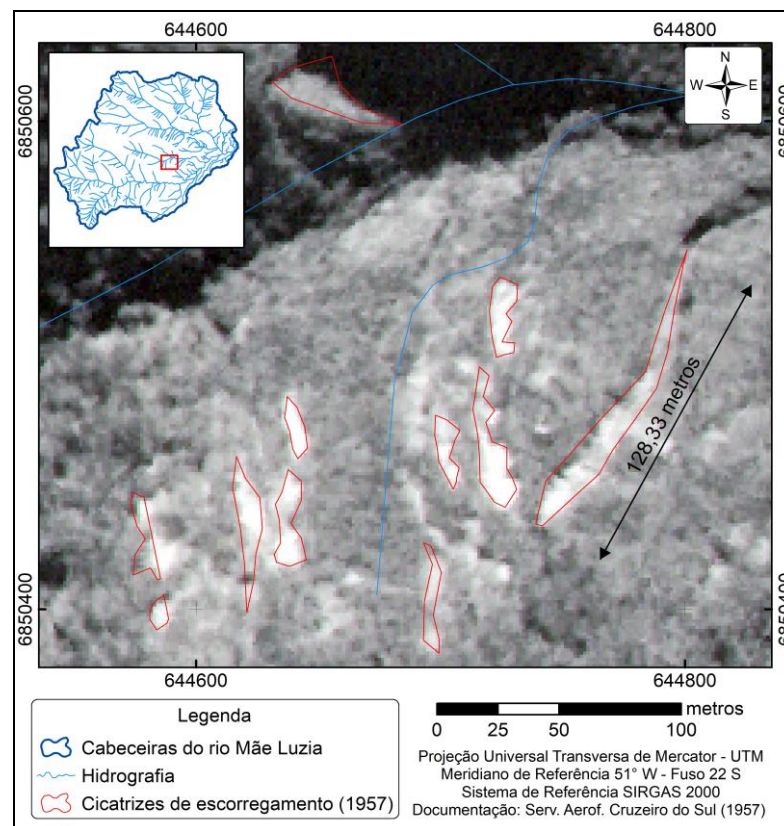
Procedimentos Metodológicos

Para inventariar cicatrizes de escorregamentos na área de estudo foi realizado o mapeamento em contexto temporal pretérito (1957). O objetivo da análise temporal foi restituir as antigas cicatrizes de escorregamentos, descrevendo as modificações que ocorreram na paisagem naquele contexto, resultantes das múltiplas interações com o uso do solo nas encostas.

Para recobrir os 22,39 km² desta sub-bacia, como imagem base do contexto temporal de 1957, foram usadas fotografias aéreas de números 952, 954, 958 e 959, de escala de voo 1:25.000, obtidas pelo Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A (1957). O uso de fotografias aéreas antigas, como componente de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), exigiu que as mesmas fossem escanizadas em alta resolução (600 dpi), com metadados (KAREL et al., 2013), e que para estas fotos fosse atribuída uma referência espacial, ou seja, georreferenciadas sobre a base cartográfica (SANTA CATARINA, 2010), Sistema de Referência SIRGAS 2000, Sistema de Projeção UTM, Meridiano Central 51°, Fuso 22 Sul.

O georreferenciamento, conforme Brovelli e Minghini (2012), permitiu integrar diretamente a cartografia histórica com todos os produtos atuais referenciados espacialmente. Considerando-se a escala e tamanho das fotografias (23 cm x 23 cm), bem como a mencionada escanização, a resolução espacial das imagens é de 1,058 m/pixel, o que, segundo Gobbi et al. (2018), possibilitou a digitalização em tela em escala de detalhe. As cicatrizes de escorregamentos foram digitalizadas na escala fixada de 1:2.000 (Figura 3) para sua vetorização, com o uso do pacote de softwares de geoprocessamento ArcGIS® 10.2.1 (ESRI, 2013), licenciado para a Universidade do Extremo Sul Catarinense. A digitalização da cobertura do solo seguiu as recomendações temáticas do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013).

Figura 3 - Digitalização em tela de cicatrizes de escorregamentos pré-1957.

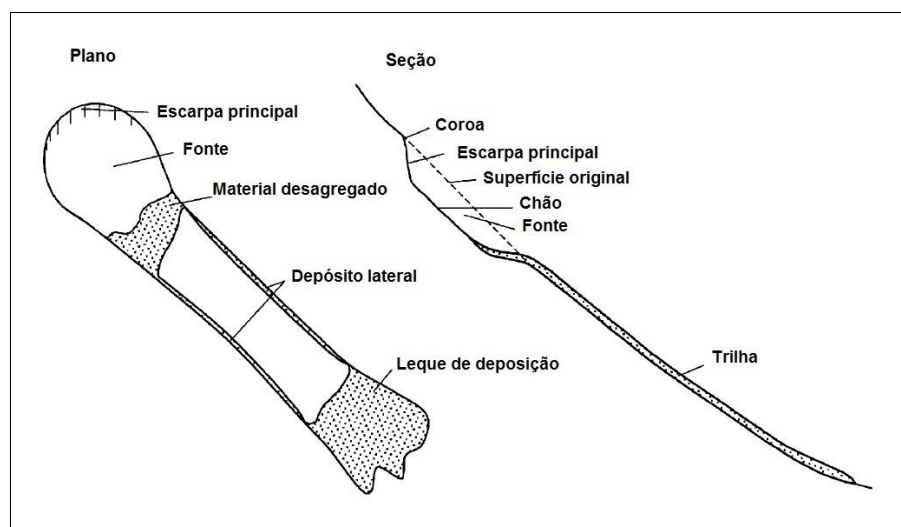


Fonte - Autores (2021).

A partir da aquisição dessas informações foi elaborado um banco de dados geográfico em ambiente de SIG contendo como camadas temáticas: as fotografias aéreas antigas, a cobertura do solo, as cicatrizes interpretadas e a rede hidrográfica, disponibilizada pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (2010).

Como critério de digitalização em tela das cicatrizes de escorregamentos, adotaram-se as premissas de Dai e Lee (2002), que descreveram que os escorregamentos de terra teriam características comuns, como: uma área de origem, definida por uma superfície de ruptura, o chão e a área fonte; a trilha de escorregamento, onde predomina o transporte; e o leque de deposição. Assim como Fiorillo et al. (2019), os escorregamentos foram representados por polígonos sem uma identificação específica das áreas de origem, transporte e deposição. A visão em plano e perfil típica de um escorregamento translacional pode ser acompanhada na Figura 4. Assim, mapeou-se da coroa até a base da trilha.

Figura 4 - Ilustração de um típico escorregamento translacional e suas toponímias identificadoras.



Fonte - Adaptado de Dai e Lee (2002).

Ao final do mapeamento e quantificação das cicatrizes, foram estabelecidas as relações teóricas desta proposição, com o uso e ocupação do solo, em intervalo temporal pretérito para a área de estudo, assim como o grande incêndio de 1951, no intuito de correlacionar espaço-temporalmente a questão dos movimentos de massa com as práticas antrópicas nas cabeceiras do rio Mãe Luzia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Escorregamentos, florestas e estabilização de encostas

Rice; Crobett; Bailey (1969) afirmaram que o escorregamento do solo seria resultado de uma falha de fricção ao longo de uma superfície de cisalhamento, essencialmente paralela à superfície topográfica (no caso dos escorregamentos translacionais), local este em que as tensões cisalhantes acumuladas excedem as de resistência. Uma vez iniciado o escorregamento, a parte desprendida do solo desloca-se na direção encosta abaixo, sob ação gravitacional, expondo o substrato do solo, ou mesmo parte deste, formando um depósito de material, essencialmente desorganizado, acumulado na base de uma encosta.

Esta zona de cisalhamento pode ocorrer pouco abaixo da linha máxima de incidência das raízes, entre uma camada coluvial e/ou residual e a rocha-matriz, numa interface de argila, ou de paleopavimentos (RICE; CROBETT; BAILEY, 1969). As condições mais favoráveis para escorregamentos ocorrem em declividades acentuadas, em solos sem coesão, como os coluviais, em períodos de forte chuva e sem proteção vegetal, contudo, também podem dar-se em áreas florestadas.

As florestas naturais apresentam um importante papel a respeito dos serviços ecossistêmicos relacionados à biodiversidade, água, ciclagem de nutrientes, além de controle de processos erosivos (COSTANZA et al., 1997; DE GROOT et al., 2012). De acordo com Neary; Ise; Jackson (2009), o solo

florestal é composto por sistemas radiculares profundos e extensos, com muita matéria orgânica superficial, que resulta num substrato poroso e muito permeável. O solo da floresta é resultado da interação com as árvores (copa+tronco+raiz), que podem exercer influência positiva e/ou negativa na deflagração de algum tipo de desastre (KOBİYAMA; MICHEL; GOERL, 2012).

De acordo com Kobiyama; Michel; Goerl (2012) é comum observar a ocorrência de movimentos de massa em locais florestados, embora exista a expectativa, e até mesmo um mito, de que as florestas contribuam para reduzir estes processos nas encostas. As florestas contribuem para fixação e ancoragem mecânica das encostas, entretanto, uma vez desestabilizada a resistência inicial, os escombros, ou detritos, é que poderão potencializar um movimento de massa (neste caso, possivelmente um fluxo de detritos), aumentando seu poder destrutivo. Neary; Ice; Jackson (2009) já indicavam que mesmo nas bacias hidrográficas mais vegetadas é natural a ocorrência de escorregamentos e outros movimentos de massa.

As florestas facilitam a infiltração e diminuem o escoamento hortoniano (HORTON, 1933), favorecendo a formação do solo, ou pedogênese. Kobiyama; Michel; Goerl (2012) alertam que, pela pedogênese, o solo aumenta em espessura e peso, e esta não é ilimitada, uma vez que há um momento em que o volume de material acumulado fica instável numa encosta, ou seja, é deflagrado o movimento de massa. Após o evento, a pedogênese retorna para fase inicial. Conforme os mesmos autores, o papel da floresta consiste em potencializar o escoamento subterrâneo em detrimento do superficial, modificando o balanço de um processo geomorfológico (erosão superficial) que se caracteriza por alta frequência e menores magnitudes, enquanto outro processo (escorregamento) apresenta maior magnitude e menor frequência.

Michel e Kobiyama (2016) apresentaram que o aumento de coesão de raízes eleva o fator de segurança de uma encosta, pelo menos, em solos menos profundos. Kobiyama; Michel; Goerl (2012) citaram estudos realizados no Japão em que os efeitos mecânicos do desmatamento demonstraram que as raízes perdem gradualmente a função de coesão e estabilidade, sendo que, aproximadamente 10 anos após o desmatamento, as encostas chegariam no período mais instável. Numa floresta em recomposição, a estabilidade máxima ofertada pelas raízes seria de 20 a 30 anos após a sucessão vegetal; entretanto, após atingir o clímax, a estabilidade decai lentamente.

Uma importante consideração de Reubens et al. (2007) é de que raízes que adentram perpendicularmente à superfície do solo reforçarão a resistência ao cisalhamento, ao passo que as raízes que crescem paralelamente à superfície aumentam a força de tração. A combinação de raízes finas na parte superior do solo (onde é importante a resistência à tensão), com raízes maiores que penetrem e cruzem a superfície de cisalhamento potencial (submetida à maior flexão) é benéfica para estabilizar encostas. Entretanto os autores supracitados evidenciam que em caso da superfície de escorregamento coincidir com o contato solo-rocha ou zona aerada-saturada, o papel estabilizador das raízes é diminuído.

Com estas constatações é observado que a floresta tem um papel dual para estabilização de encostas, uma vez que simultaneamente contribui para fixação do solo, por outro lado contribui para a pedogênese e formação de maior volume de material friável nas encostas. Assim, uma área florestada não necessariamente é capaz de evitar o movimento de massa, aumentando a magnitude deste, mesmo que contribua para diminuir sua frequência.

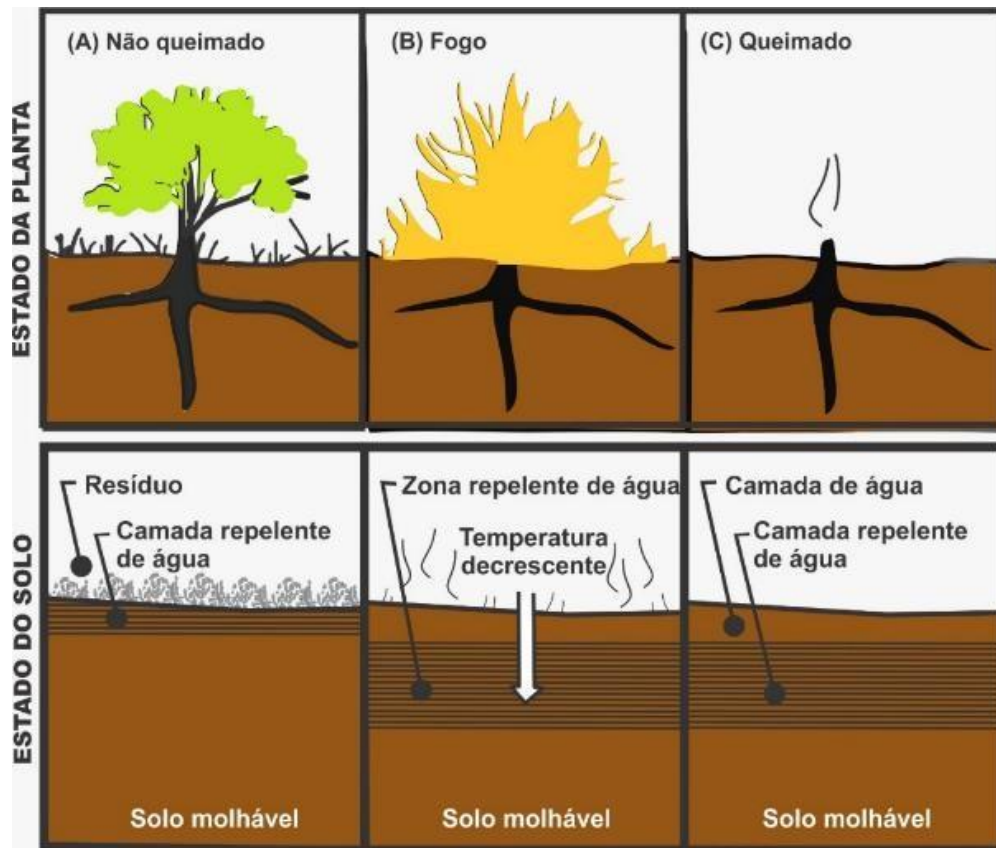
Incêndio e solo-repelência

Sabe-se que a frequência de processos erosivos aumenta conforme a vegetação lenhosa é removida das encostas íngremes, uma vez que a força de cisalhamento pode ser comprometida pela variação na saturação do substrato, por conta de morte de raízes, incêndios e mudanças no tipo de vegetação (NEARY; ICE; JACKSON, 2009).

Um solo seco tem propensão para absorver e adsorver água líquida, a menos que este tenha uma camada de repelência à água, que facilite a evaporação ou escoamento da água precipitada. Isto ocorre pelo ângulo de contato entre a gota de água e a superfície do solo repelente à água. Os solos secos, que aceitam água, têm um ângulo de contato do líquido para o sólido em quase zero graus, ao passo que os solos repelentes têm ângulos de contato de até 90 graus (DE BANO, 2000; NEARY, ICE, JACKSON, 2009).

De Bano (2000) já afirmava que incêndios florestais podem causar erosão acelerada do solo e mudanças marcantes no regime hidrológico de bacias hidrográficas, isto porque o aquecimento do solo intensifica a repelência do mesmo em relação à água, impedindo a infiltração e favorecendo o escoamento horizontal, reduzindo a condutividade hidráulica do solo (Figura 5).

Figura 5 - Formação da camada de solo repelência, induzida por incêndios, que dificulta a absorção e adsorção de água pelo solo.



Fonte - Adaptado de Neary; Ice; Jackson (2009).

A repelência do solo em relação a água é de natureza química, originada a partir de matéria orgânica que forma uma camada de compostos hidrofóbicos durante o aquecimento natural, ou induzido, pelo fogo sobre partículas minerais, impedindo a infiltração. O porte do incêndio determinará a magnitude da repelência adquirida, assim como a quantidade de matéria orgânica disponível, que condicionará diferentes gradientes de temperatura. A explicação é creditada na formação da camada de solo-repelência, formada durante o incêndio, cuja atuação pode durar anos, a exemplo do verificado nos seus estudos na Califórnia. Após os eventos de queima, a camada de repelência é encontrada discretamente e paralelamente à superfície do solo mineral, alguns centímetros abaixo (DE BANO, 2000). A formação da camada de solo-repelência pode ser acompanhada pela Figura 5. Nesta figura é visualizado que durante o incêndio as substâncias hidrofóbicas são vaporizadas, movem-se para baixo no perfil, dado o gradiente de temperatura, sendo que, passado o incêndio e com sucessão da pedogênese, a camada repelente formada vai movendo-se para baixo, paralela à superfície.

De Bano (2000) credita, por meio de suas observações, que a repelência de água pode ser um fator responsável pela erosão acelerada, com destaque nos primeiros anos após incêndios florestais, e movimentos de massa em períodos posteriores. Isto porque a camada de solo-repelência constituirá uma nova superfície preferencial de cisalhamento, um local em que a água infiltrada escoará lateralmente, podendo deslocar o material pedogenizado sobre a camada (RICE; CROBETT; BAILEY, 1969). Em uma situação hipotética de chuvas acentuadas, os poros saturados acima da camada de solo-repelência começam a drenar lateralmente, dada a impossibilidade ou restrição da infiltração.

Considerando-se a ocorrência do grande incêndio de 1951 nas encostas da Serra Geral, nas cabeceiras do rio Mãe Luzia, pode-se estabelecer analogia aos eventos em cadeia que se deflagraram nas décadas subsequentes, quando em episódios de intensa pluviosidade ocorreram movimentos de massa, favorecidos pela perda da cobertura vegetal, alterações na função de florestas nas encostas e regulação do ciclo hidrológico, ou mesmo, da formação de uma superfície de solo-repelência.

Cicatrizes de escorregamentos nas encostas, uso do solo e incêndio de 1951

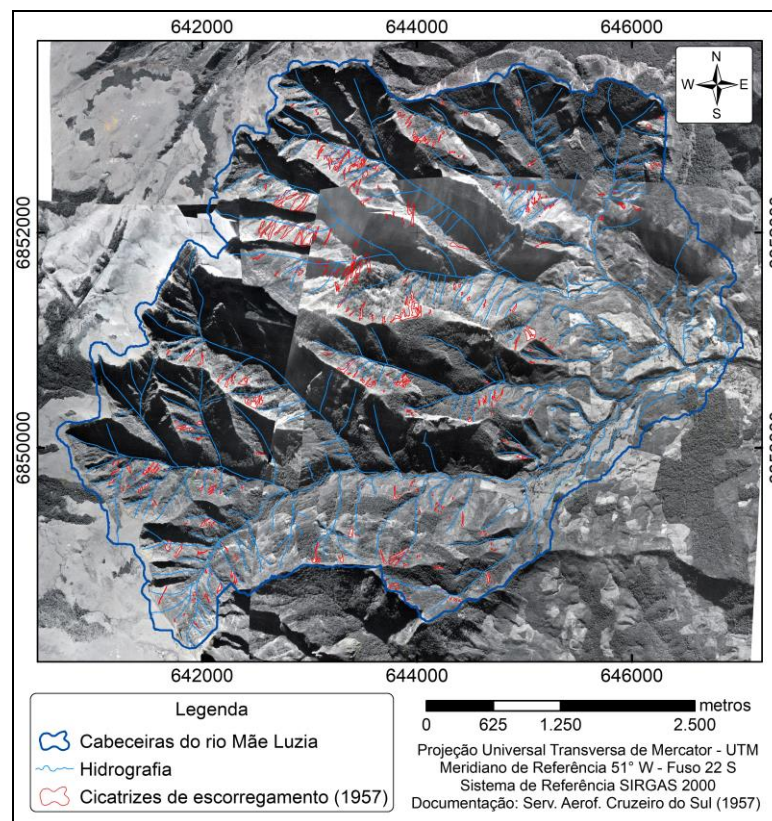
Relatos históricos confirmam devastador incêndio nesta floresta da escarpa do Planalto Sul Brasileiro, ou no coloquial “Costa da Serra”. De acordo com Dall’Alba (1986), o incêndio proposital iniciou com a queimada sazonal dos campos de cima da serra, imaginando-se que se extinguiria na primeira chuva; contudo, nos meados do inverno de 1951 ocorreram dois meses de estiagem que, associada ao forte vento minuano (sul-sudoeste) empurrou as chamas serra abaixo. Além do incalculável dano ecológico pela queimada de floresta, impacto na fauna, rios, qualidade do ar, e outros, as chamas perduraram por dois meses de estiagem, propagando-se por diversos municípios, dentre esses, Treviso.

Com a estiagem, o incêndio só aumentava, uma vez que as madeiras estavam secas e, conforme Dall’Alba (1986, p.122-3), “aquilo quando queimava os peraus queimavam até na laje. Aí cortava as raízes e despencava para baixo. Formava aquelas barreiras... com madeirama e tudo e atulhava aquelas grotas (...) Adonde pegava fogo aquele faxinal queimava tudo, as pedras rolavam, os troncos rolavam e traziam o fogo embaixo”.

As assertivas de De Bano (2000) e Neary; Ice; Jackson (2009) para o tema do solo-repelência estão diretamente relacionadas com queimadas florestais em encostas, após um período de seca, em que a biomassa se torna combustível e o solo seco favorece a potencialização dos efeitos do incêndio sobre os aspectos hidrológicos do perfil de solo. Em todos os estudos de caso ocorreram impressionantes relatos das altas taxas de movimentos de massa, erodibilidade das encostas pós-incêndios e relação com o aumento de desastres naturais de caráter hidrológico, nas bacias hidrográficas analisadas, o que apresenta também, forte relação com as cabeceiras da Bacia Hidrográfica do rio Mãe Luzia.

Por meio da Figura 6 podem ser visualizadas as cicatrizes de escorregamentos em encostas, digitalizadas sobre fotografias aéreas de 1957, ou seja, retratam o evento de movimento de massa ocorrido poucos anos depois do incêndio, datado de 1951. Foram mapeadas 337 cicatrizes, totalizando 27,41 hectares, num total de 22,39 km² da área de estudo. A Figura 7 mostra em detalhe algumas das cicatrizes. É interessante observar que praticamente todas as cicatrizes constam nas vertentes direcionadas a norte. O efeito da sombra das fotografias, presente nas vertentes a sul, dificultou o mapeamento de cicatrizes nessas porções.

Figura 6 - Área de estudo das cabeceiras do rio Mãe Luzia e cicatrizes de escorregamentos no ano de 1957.

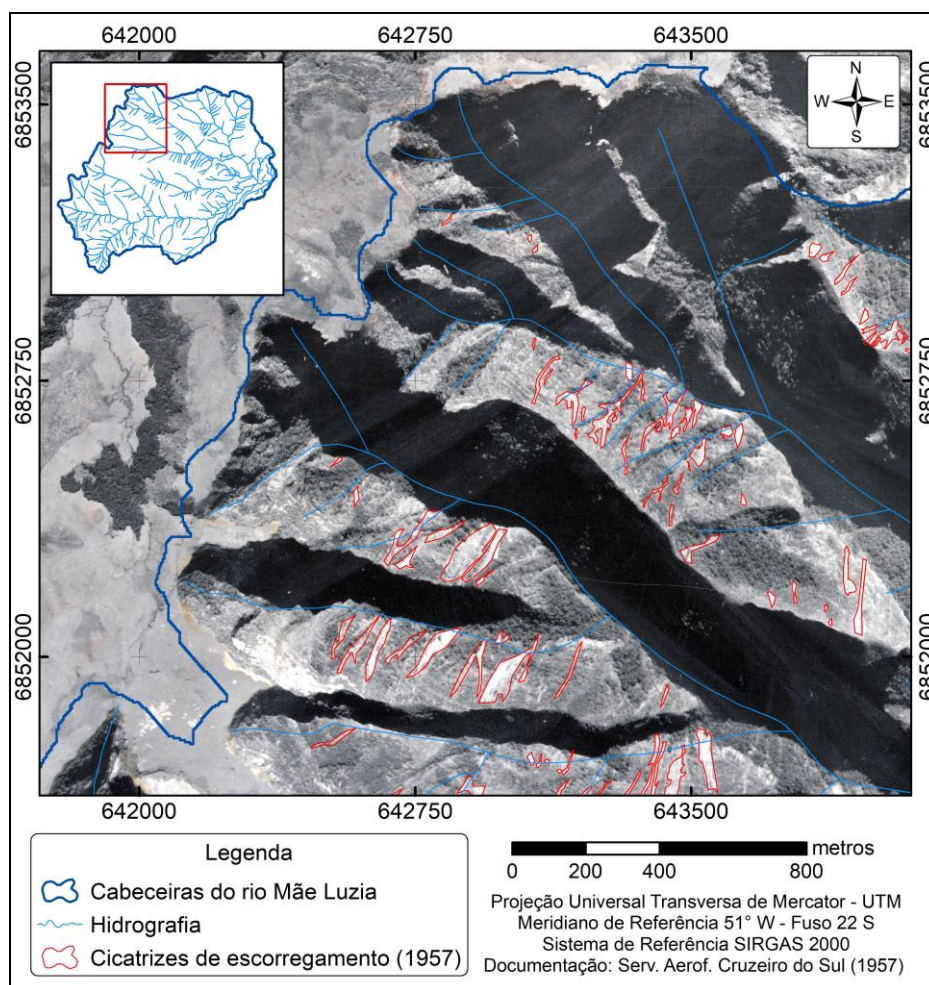


Fonte - Autores (2021).

Complementa-se que, além da potencialização do evento de movimento de massa ter relação com a superfície de solo-repêlência formada em incêndio, as práticas de uso do solo desenvolvidas de maneira intensiva nas encostas, desde o Século XIX, contribuíram para que não restasse número significativo de árvores de grande porte, o que em teoria, ancoraria o solo e auxiliaria na sua estabilização.

A colonização europeia das encostas nas cabeceiras do rio Mãe Luzia deu-se nos finais do Século XIX, quando imigrantes italianos fundaram os primeiros núcleos populacionais. Toda formação socioespacial estava atrelada às companhias colonizadoras, que instalaram pequenas propriedades mercantis, que desenvolveram a policultura de subsistência. Como a vida era árdua, uma das únicas opções de renda estava associada à retirada da madeira das encostas, sendo esta beneficiada em madeireiras instaladas junto aos rios (DALL'ALBA, 1986).

Figura 7 - Detalhe do mapeamento de cicatrizes de escorregamentos no ano de 1957.



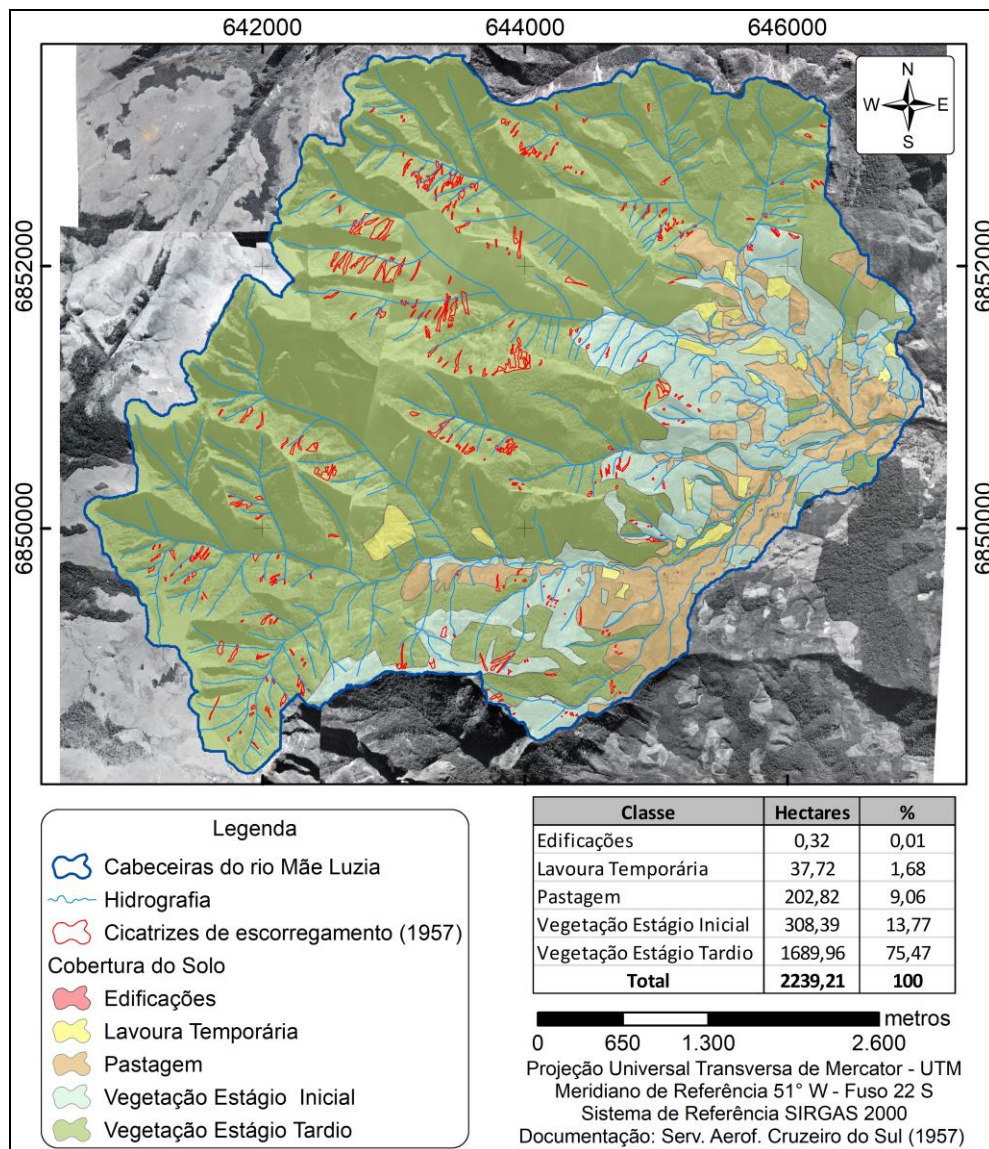
Fonte - Autores (2021).

Esta prática de corte da vegetação nas encostas era a única alternativa de renda extra, tendo em vista o relevo acidentado da área, e considerando-se que as planícies eram destinadas para roças. Vale relatar que, nos idos do início do Século XX, não existiam plantios sistematizados de árvores exóticas, ou seja, era a floresta nativa o recurso madeireiro e energético a ser usado.

Na Figura 8, além das cicatrizes de escorregamentos superpostas, foi digitalizada a cobertura do solo de 1957, evidenciando as classes de cobertura do solo, com destaque, também, para a vegetação em estágio sucessional inicial, ou herbáceo-arbustiva. Este tipo de vegetação está relacionado às práticas de

uso madeireiro naquelas áreas, ou abandono do campo, em que a mata volta a ocupar as encostas. Em 1957, a área que apresentava vegetação em estágio sucessional avançado era de 75,47% do total estudado, 13,77%, ou 308,39 hectares, eram recobertos por vegetação em estágio inicial e 10,74% (ou 240,5 hectares) por uso agropastoril (lavoura temporária e pastagem).

Figura 8 - Cobertura do solo e quadro de áreas na área de estudo, ano de 1957.



Fonte - Autores (2021).

Desta forma, os resultados indicam que as atividades socioeconômicas mais intensivas, já praticadas nestas encostas, aliadas a um grande incêndio florestal, também deflagrado por prática antrópica, contribuíram para que, em períodos de chuvas concentradas, ocorressem escorregamentos de grande magnitude, mesmo em área de vegetação em estágio sucessional tardio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os eventos naturais que ocorrem nas cabeceiras do rio Mãe Luzia têm grande potencial para ocasionar desastres naturais, contudo, a baixa densidade populacional local diminui significativamente as

vulnerabilidades. O estado de Santa Catarina tem histórico de ocorrência de desastres naturais, sendo que os esforços científicos, político-econômicos concentram-se na prevenção, mitigação e reestruturação dos atingidos, sendo poucos os estudos multitemporais que visam encontrar causas deflagradoras, de relacionar suscetibilidade com práticas antrópicas.

Este trabalho objetivou relacionar eventos de movimento de massa em encostas, os escorregamentos, com práticas antrópicas realizadas em áreas que se encontravam florestadas no período pré-colonial. Os resultados indicaram que existe um equilíbrio dinâmico entre floresta, ciclo hidrológico e estabilidade de encostas e, este equilíbrio, uma vez alterado, pode favorecer eventos com maior frequência e até maior magnitude.

O quadro fisiográfico local, de suscetibilidade natural, aliado às chuvas, explica parte dos registros de movimentos de massa. Como visto, pelo suporte bibliográfico deste trabalho, incêndios florestais e práticas antrópicas em encostas, como o corte de madeira, alteraram a relação entre escoamento superficial e infiltração, gerando superfícies descontínuas que facilitam o cisalhamento do solo, a exemplo da superfície de solo-repelência, e estes efeitos se fazem sentir por décadas.

A principal recomendação deste trabalho defende a ideia de que o histórico de uma área deve ser analisado, seja por imagens aéreas, livros ou relatos populares, na tentativa de contribuir para os estudos sobre desastres naturais, ou mesmo de mapeamento geológico-geomorfológico no âmbito de cartas de suscetibilidade. A análise temporal forneceu subsídios para se compreender e comparar as cicatrizes com eventos que vierem a ocorrer posteriormente, para que sejam correlacionados facilitando outras pesquisas, tomada de decisão e planejamento do território.

AGRADECIMENTO

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo auxílio com bolsa na modalidade de Doutorado.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

BROOKFIELD, M. E. The evolution of the great river systems of southern Asia during the Cenozoic India-Asia collision: Rivers draining southwards. *Geomorphology*, v. 22 (3-4), p. 285-312, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(97\)00082-2](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(97)00082-2)

BROVELLI, M. A.; MINGHINI, M. Georeferencing old maps: a polynomial-based approach for Como historical cadastres. *e-Perimetron*, v. 7, n. 3, p. 97-110, 2012.

CEPED-UFSC - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012**: volume Brasil. Florianópolis, 2013. Disponível em: <http://150.162.127.14:8080/atlas/Brasil%20Rev%202.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2016.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; VAN DE BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, p. 253-260, 1997. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

DAI, F. C.; LEE, C. F. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, v.42, p. 213-228, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00087-3](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00087-3)

DALL'ALBA, J. L. **Colonos e mineiros no grande Orleans**. Orleans: Instituto São José, 1986.

DE BANO, L. F. The role of fire and soil heating on water repellency in Wildland environments: a review. *Journal of Hydrology*, v. 231 - 232, p.195–206, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00194-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00194-3)

DE GROOT, R.; BRANDER, L.; DER PLOEG, S.; COSTANZA, R.; BERNARD, F.; BRAAT, L.; CHRISTIE, M.; CROSSMAN, N.; GHERMANDI, A.; HEIN, L.; HUSSAIN, S.; KUMAR, P.; MCVITTIE, A.; PORTELA, R.; RODRIGUEZ, L. C.; TEN BRINK, P.; VAN BEUKERING, P. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. **Ecosystem Services**, v. 1, n. 1, p. 50-61, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>

DEL SOLDATO, M.; RIQUELME, A.; BIANCHINI, S.; TOMÀS, R.; DI MARTIRE, D.; DE VITA, P.; MORETTI, S.; CALCATERRA, D. Multisource data integration to investigate one century of evolution for the Agnone landslide (Molise, southern Italy). **Landslides**, v.15, p. 2113-2128, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1015-z>

DUARTE, G. M. **Depósitos Cenozóicos Costeiros e a Morfologia do Extremo Sul de Santa Catarina**. 1995. Vol. 01. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Geografia, USP, São Paulo.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop**: Release 10.2. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2013.

FIORILLO, F.; GUERRIERO, L.; CAPOBIANCO, L.; PAGNOZZI, M.; REVELLINO, P.; RUSSO, F.; GUADAGNO, F. M. Inventory of Vietri-Maiori landslides induced by the storm of October 1954 (southern Italy). **Journal of Maps**, v. 15, n.2, p. 530-537, 2019. <https://doi.org/10.1080/17445647.2019.1626777>

GHAZIPOUR, N.; SIMPSON, G. Size distribution and controls of landslides in the Zagros mountain belt (Iran). **Special Paper of the Geological Society of America**, v. 525, p.1 - 22, 2016.

GOBBI, S.; MAIMERI, G.; TATTONI, C.; CANTIANI, M. G.; ROCCHINI, D.; LA PORTA, N.; CIOLLI, M.; ZATELLI, P. Orthorectification of a large dataset of historical aerial images: procedure and precision assessment in an open source environment. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume XLII-4/W8, 2018. FOSS4G 2018 – Academic Track, 29–31 August 2018, Dar es Salaam, Tanzania. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W8-53-2018>

HERRMANN, M. L. P. (Org. **Atlas de Desastres Naturais do estados de Santa Catarina**: período de 1980 a 2010). 2. ed. atualizada e revisada. Florianópolis: IHGSC/Cadernos Geográficos, 2014.

HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrologic cycle. **Transactions of the American Geophysical Union**, v.14, p.446-460, 1933. <https://doi.org/10.1029/TR014i001p00446>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base Cartográfica e Contínua do Brasil ao Milionésimo – BCIM**, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads>> Acesso em: 14 mar. 2018.

_____. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. 171 p. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 7). Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2018.

KAREL, W.; DONEUS, M.; VERHOEVEN, G.; BRIESE, C.; RESSL, C.; PFEIFER, N. Oriental - automatic geo-referencing and ortho-rectification of archaeological aerial photographs. In: INTERNATIONAL CIPA SYMPOSIUM, 24., 2013, Strasbourg. **Proceedings...** Strasbourg, V. II-5/W1, p.175-180, 2013. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W1-175-2013>

KER, J. C.; ALMEIDA, J. A.; FASOLO, P. J.; HOCHMÜLLER, D. P. Pedologia. **Projeto Radambrasil**. Folha SH-22 - Porto Alegre e parte das folhas SH-21 – Uruguaiiana e SI-22 – Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: RADAM, 1986. v. 33, p. 405-540.

KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P.; GOERL, R. F. Relação entre desastres naturais e floresta. **Revista GeoNorte**, v. 6, p. 17 - 48, 2012.

KREBS, A. S. J. **Contribuição ao Conhecimento dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC**. 2004. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFSC, Florianópolis.

LUDWIG, L.; MATTEDI, M. A. Dos desastres do desenvolvimento ao desenvolvimento dos desastres: a expressão territorial da vulnerabilidade. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 39, p. 23-42, 2016. <https://doi.org/10.5380/dma.v39i0.45575>

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBAYAMA, M. Banco de dados de desastres naturais: Análise de dados globais e regionais. **Caminhos da Geografia**, v. 6 (19), 130-149, 2006.

MICHEL, G. P. **Modelagem de Estabilidade de Encostas com Consideração do Efeito da Vegetação**. 2013. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC, Florianópolis.

MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M. Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Fluxos de Detritos por Meio de Modelagem Computacional. In: LADWIG, N. I.; SCHWALM, H. (orgs.) - **Planejamento e Gestão Territorial: Hidrografia e Sustentabilidade**. Florianópolis: Insular, 2016. 304 p.

MONTEIRO, M. A.; FURTADO, S. M. A. O Clima no Trecho de Florianópolis – Porto Alegre: Uma Abordagem Dinâmica. Florianópolis: **Geosul**, v. 10 (19-20), p.117-133, 1996.

NEARY, D. G.; ICE, G. G.; JACKSON, C. R. Linkages between forest soils and water quality and quantity. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 2269-2281, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.05.027>

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

PIAZZA, G. A.; VIBRANS, A. C.; LIESENBERG, V.; REFOSCO, J. C. Object-oriented and pixel-based classification approaches to classify tropical successional stages using airborne high-spatial resolution images. **GIScience & Remote Sensing**, v. 53 (2), p. 206-226, 2016. <https://doi.org/10.1080/15481603.2015.1130589>

REUBENS, B.; POESEN, J.; DANJON, F.; GEUDENS, G.; MUYS, B. The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture: a review. **Trees**, v. 21, p. 385-402, 2007. <https://doi.org/10.1007/s00468-007-0132-4>

RICE, R. M.; CROBETT, E. S.; BAILEY, R. G. Soil slips related to vegetation, topography, and soil in Southern California. **Water Resources Research**, v. 5, p. 647-659, 1969. <https://doi.org/10.1029/WR005i003p00647>

SANTA CATARINA (Estado). SDS – Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina. **Levantamento Aerofotogramétrico – Ortomosaico RGB**: Município de Treviso. Escala 1:2.000. 2010. Disponível em: <<http://sigsc.sds.sc.gov.br/download/index.jsp>> Acesso em: 24 mar. 2018.

SERVIÇOS AEROFOTOGRAFÉTRICOS CRUZEIRO DO SUL S.A. (Santa Catarina, SC). **Foto Aérea. Santa Catarina, 1957, nos. 952, 954, 958 e 959**. Escala 1:25.000.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2012.

VAN DEN EECKHAUT, M.; HERVÁS, J.; JAEDICKE, C.; MALET, J. -P.; MONTANARELLA, L.; NADIM, F. Statistical modelling of Europe-wide landslide susceptibility using limited landslide inventory data. **Landslides**, v. 9, n. 1, p. 357-369, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10346-011-0299-z>

VIBRANS, A. C.; MCROBERTS, R. E.; MOSER, P.; NICOLLETTI, A. Using satellite image-based maps and ground inventory data to estimate the area of the remaining Atlantic forest in the Brazilian state of Santa Catarina. **Remote Sensing of Environment**, v. 130, p.87-95, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.023>

WHITE, I. C. 1908. Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro: DNPM, Fac-similar, Parte I, p. 1-300; Parte II, p. 301-617, 1988.

Recebido em: 02/12/2020

Aceito para publicação em: 01/04/2021