

Relatório interno

***Divisão de Geologia Aplicada - DIGEAP
Departamento de Gestão Territorial - DEGET
Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial - DHT***

***Cadastro de ocorrências de
Movimentos Gravitacionais de Massa.***

Presidente Getúlio - Santa Catarina.

Thiago Dutra dos Santos

Victor Augusto Hilquias Silva Alves

Agosto 2021

Sumário

Introdução	3
Justificativa	5
Objetivos	5
Localização	5
Contextualização do meio físico	6
Métodos de campo	11
Atividades pré-campo	11
Atividades de campo	12
Atividades de pós-campo	16
Considerações	16
Análise de Campo	16
Deslizamentos planares induzidos	22
Deslizamentos planares naturais	23
Processos geo-hidrológicos	28
Metodológicas	35
Recomendações	43
Equipe técnica	43
Referências Bibliográficas	43

Introdução

É notório que o aquecimento climático está mudando os padrões climáticos e afetando a frequência e a magnitude dos fenômenos naturais. Os eventos naturais têm se tornado cada vez mais recorrentes no Brasil. Ao mesmo tempo, o crescimento populacional e o processo de ocupação desordenada aumentam a fragilidade do meio físico e expõe um número significativo de pessoas ao risco geológico. Como consequência, causa prejuízos e perdas socioeconômicas.

Devido aos recentes desastres no Brasil, o Governo Federal articulou diversas iniciativas para otimizar as ações de prevenção e resposta aos protocolos de desastres naturais. A lei federal 12608/2012 instituiu a política nacional de defesa e proteção civil, que orienta as atividades de prevenção e resposta na gestão dos riscos geológicos. Essa lei designou o SGB/CPRM para promover e fornecer planos de informação em escala municipal para apoiar a tomada de decisões de estratégias governamentais e reduzir - mitigar os danos desencadeados pelos fenômenos geohidrológicos.

Recentemente, o alto vale do Itajaí vem sendo atingido por fortes chuvas e causando desastres e transtornos às cidades em diversos anos (Pozzobon *et al.*, 2018).

O mais recente ocorreu entre 16 e 17 de dezembro de 2020, na região do Alto Vale do Itajaí, nos municípios Presidente Getúlio, Ibirama e Rio do Sul. Foram registradas fortes precipitações (Michel *et al.*, 2021) que desencadearam uma série de processos de Movimentos Gravitacionais de Massa (MGMs). Outras regiões do Estado de Santa Catarina foram afetadas em menor porte, como São José e Palhoça na Grande Florianópolis.

O maior volume foi observado em Presidente Getúlio, segundo dados oficiais, com 125 mm, sendo que 120 mm foram observados em apenas 6 horas, entre 22h do dia 16/12 e 4 h do dia 17/12 (Michel *et al.*, 2021). A Figura 1 ilustra a precipitação acumulada em 12 horas (CIOP-DCSC op cit).

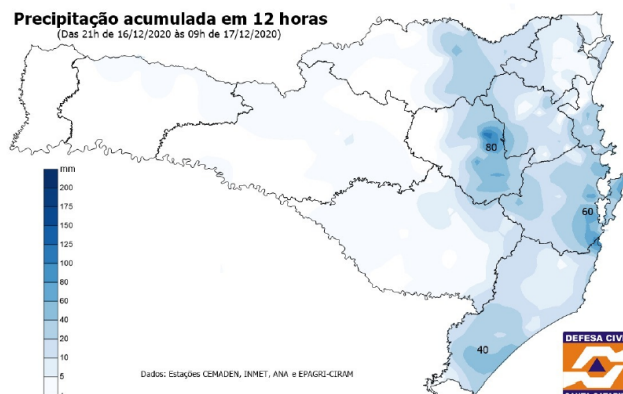


Figura 1: Precipitação acumulada em 12hs no Estado de Santa Catarina (Informe 06.2020/CIOP-DCSC).

A concentração de chuva ficou restrita nos contrafortes da Serra do Mirador, que separa os municípios de Presidente Getúlio, Ibirama e Rio do Sul. A área está inserida na Bacia do Rio Itajaí-Açu.

O evento deflagrou deslizamentos generalizados nas escarpas sustentadas por rochas sedimentares pertencentes a Bacia Paleozóica do Paraná, por sua vez, esses movimentos gravitacionais de massa (MGMs) iniciais se fluidificaram gerando fluxos de detritos e enxurradas. A Figura 01 ilustra os eventos nos municípios afetados.

A coordenadoria regional da Defesa Civil de Presidente Getúlio reportou ocorrência de diversos pontos de deslizamento de terra e enxurrada, sendo o Bairro Revólver o mais atingido (Michel *et al.*, 2021). As informações preliminares apontam para 10 óbitos e cerca de 20 desaparecidos. Na mesma região, mas em bacias hidrográficas diferentes, nos municípios de Rio do Sul e Ibirama, também foram reportados óbitos e destruição.



Figura 01: Fotos do evento nos municípios atingidos. Cortesia dos agentes das defesas civis regionais (Elaborado por Thiago Dutra).

Justificativa

Os projetos de carta de suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa (MGMs) e Inundações e Mapeamento de Perigo a MGMs utilizam dados de cicatrizes de deslizamentos para calibrar os parâmetros de modelagem e para qualificação dos graus de severidades dos processos. Tendo isto em vista, existe uma necessidade de realizar estudos assim que acontecem os eventos, para melhor caracterização dos processos, coletar dados e assim ter uma maior assertividade na geração de produtos de prevenção a desastres naturais.

Objetivos

Este documento tem por finalidade apresentar as atividades realizadas, os dados coletados e as informações geradas nos estudos realizados no município de Presidente Getúlio - Santa Catarina. As atividades de campo foram realizadas entre os dias 8 e 13 de fevereiro de 2021.

Os objetivos da etapa de campo incluíram:

- Coletar dados dos MGMs gerados pelo evento de chuvas intensas;
- Criação de base de dados sobre o evento ocorrido no Vale do Itajaí (16-17/12/2020);
- Análise estatística sobre os parâmetros geotécnicos favoráveis a geração deste evento;
- Compreender melhor os processos para aplicações futuras.

Localização

O município de Presidente Getúlio está situado no Vale do Itajaí, pertence a microrregião do Alto Vale do Itajaí. A distância entre o município e a capital do estado de Santa Catarina, Florianópolis, é de 215 km. Limita-se ao Norte com os municípios de Dona Emma e José Boiteux; ao Sul com Laurentino, Rio do Oeste e Rio do Sul; a Leste com Ibirama e a Oeste com Rio do Oeste (Figura 02).

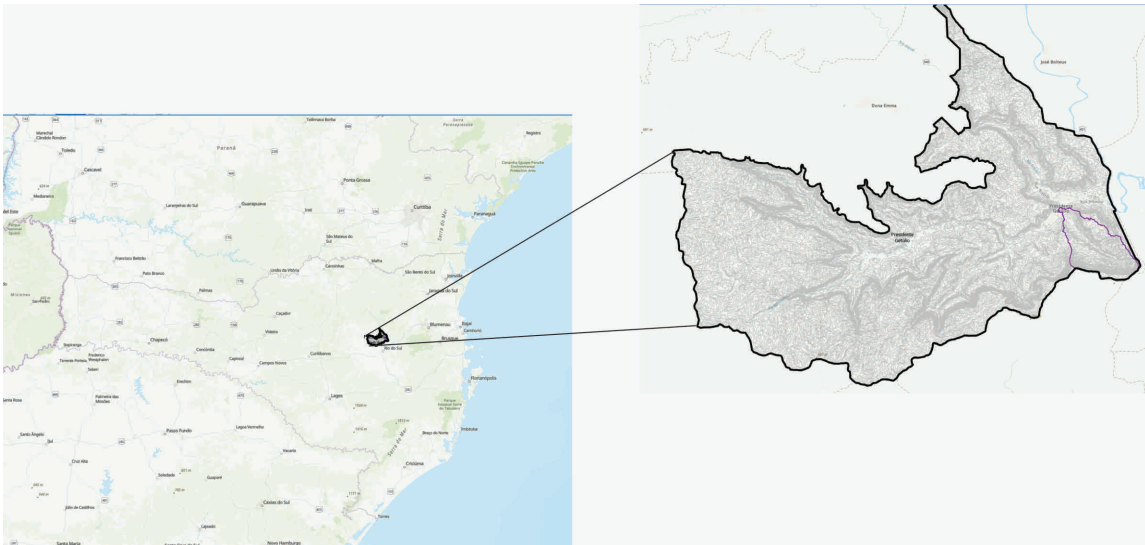


Figura 02: Localização do município de Presidente Getúlio – SC.

Fundado em 1904, o município de Presidente Getúlio foi colonizado por imigrantes suíços, alemães e italianos. Sua economia é baseada na agricultura, indústria frigorífica, moveleira, madeireira, cerâmica e têxtil, e de comércio diversificado. As propriedades rurais se caracterizam por minifúndios, sendo a maior bacia leiteira da região.

Contextualização do meio físico

Maack (2001) separa o estado do Paraná e Santa Catarina em cinco compartimento geomorfológicos, sendo eles:

- Litoral - Regiões recentes de entulhamento marinho e terrestre, planícies de aluvião, enseadas de ingressão e porções de abaixamento do complexo cristalino.
- Serra do Mar - Rochas cristalinas proterozóicas e arqueanas que formam uma serra marginal e sobrepõem os planos de nível do planalto interior.
- Primeiro planalto - (planalto de Curitiba) Zona de eversão entre a serra do mar e a escarpa devoniana, são formadas por rochas constituintes do embasamento da bacia do paraná.
- Segundo planalto - planalto sobre as rochas sedimentares de idade paleozóica da bacia do paraná. (local de estudo).
- Terceiro planalto - planalto sobre os gigantescos derrames basálticos que estão no oeste de SC e PR, são limitados pela escarpa formada por arenitos de idade mesozóica (botucatu e piramboia) .

O planalto da área de estudo  dissecado por rios, tendo como as principais drenagens os rios dos ndios, Kraul e Hercílio. A oeste do município encontram-se os

patamares mais elevados (580 m de altura) (Figura 4a). Apresentam quebras de relevo abruptas, derivadas da contínua escavação das drenagens. A área urbana está na parte mais baixa, na planície de inundação do Rio dos Índios (Figura 04b).



Figura 04a: Degraus íngremes, que separam o patamar superior do inferior.



Figura 04b: Planície de inundação do rio dos Índios - Presidente Getúlio.

A geologia local (Figura 05) é composta por rochas paleozóicas da Bacia do Paraná (Milani *et al.*, 2017). Segundo Krebs & Menezes Filho, 1984, compreendem, do topo para base, arenito ortoquartzítico com estratificações do tipo "Hummockys" e retrabalhamentos por ondas, embutidos em folhelhos marinhos, pelitos cinzas esverdeados micáceos; bioturbação por raízes e animais; zonas homogêneas de paleossolos; restos vegetais carbonizados e sequência psamítica de arenito fino a médio maduro, feldspático localmente conglomerático.

Sotopostos ocorrem Pelitos, siltitos, argilitos e lamitos, siltitos carbonoso e finas camadas de carvão, estratificação cruzada (fluvial), retrabalhamento por ondas, ambos pertencentes à Formação Rio Bonito (Fm.RB).

No segundo patamar ocorrem ritmos seguidos de turbiditos, ambos da Formação Rio do Sul (Fm.RdS). No terceiro patamar (menor altitude), que coincide com a planície do Rio dos Índios, ocorrem os arenitos finos e folhelhos pretos (folhelho Lontras), ambos pertencentes a Fm.RdS.

Os lineamentos apresentam orientação N35° - 55°W, subordinadamente, W-E, tanto no embasamento quanto nas coberturas sedimentares, onde são registradas também estruturas com orientação N40° - 50°E. As unidades sedimentares da Bacia do Paraná apresentam fraturas com orientação N50° - 65°E e N25° - 35°W verticais. As unidades estratigráficas do embasamento apresentam orientação N80° - 90°E/70° e N40° - 50°W/ 80° (Oliveira e Nascimento, 2018).

O clima classifica-se como mesotérmico úmido, sem estação seca e com verões quentes. A temperatura média é de 18,°C e a precipitação anual é de 1300 a 1700 milímetros.

O município é constituído por uma área de 297.160 Km² (IBGE, 2020) com uma população de 17.726 habitantes e densidade demográfica de 50,59 hab/Km². O Índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) corresponde a 0,759 (IBGE, 2010). O gentílico é getulense.

A malha viária possui em torno de 600km de estradas, interligando as várias localidades à sede e aos municípios vizinhos. Os principais bairros e localidades do município são apresentados no Quadro 01 (Figura 06).

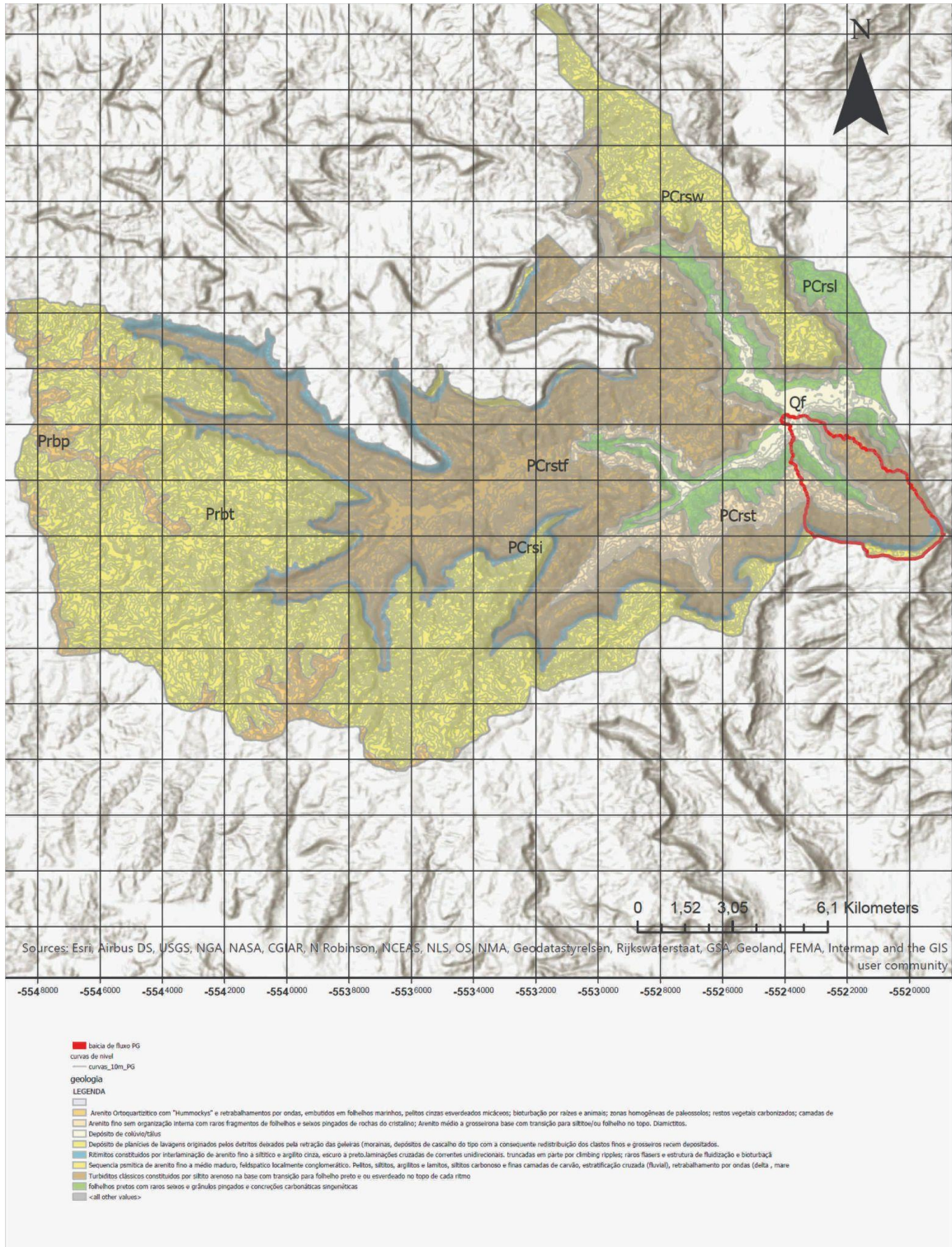


Figura 05: Mapa litológico de Presidente Getúlio - SC.

Quadro 01: Principais bairros e localidades de Presidente Getúlio.

Centro	Niterói
Pinheiro	Revolver
Rio Ferro	Índio Esquerdo
Distrito Mirador	Tifa da Pimenta
Quadro Novo	Ribeirão Urú
Ribeirão Sabiá	Jacutinga
Santa Rosa	Urucurana
Ribeirão da Onça	Canelinha
Tamanduá	Papanduva
Tucano	São José
Mostifer	Rio Krauell
Caminho Helvécia	Caminho Leão
Boa Vista	Ribeirão da Paca
Serra dos Índios	Lagarta
Caminho Caçador	Pinheiro Alto
Caminho do Bico	Serra Vencida

Apresenta 86.5% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 12.8% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 33.9% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio). Quando comparado com os outros municípios do estado, fica na posição 42 de 295, 241 de 295 e 72 de 295, respectivamente (site IBGE, acesso 17/05/2021 às 11:00hs).



Figura 06: Foto da área urbana central do município de Presidente Getúlio – SC (Fonte: <https://turismo.presidentegetulio.sc.gov.br/>).

Métodos de campo

Para realizar o cadastro das cicatrizes identificadas, desenvolveu-se planilha com informações relevantes sobre a geometria da cicatriz, além de caracterizar elementos considerados importantes do entorno como o tipo de material, a presença de cobertura vegetal, surgência de água, a posição da cicatriz na encosta entre outros. A planilha indicando as informações foi preenchida e encontra-se disponível no [Apêndice A](#).

Quando possível o acesso, as cicatrizes de deslizamentos foram catalogadas e avaliadas diretamente. Para isto, utilizou-se equipamentos de medição como trena a laser ou trena convencional, além do hipsômetro para obtenção das informações necessárias para a classificação. Contudo, caso a ruptura se localiza-se em área de difícil acesso, realizamos coleta de informações dos sobrevoos do Corpo de Bombeiro, modelos digitais de elevação e quaisquer dados gerados pelos departamentos técnicos municipais.

Atividades pré-campo

- Reunião com representante da prefeitura de Ibirama para alinhamento sobre as atividades de campo;
- Levantamento de áreas onde ocorreram deslizamentos através de informações obtidas junto à Defesa Civil Municipal e/ou órgãos responsáveis;
- Leitura de relatório técnico sobre o evento, disponibilizado pela prefeitura de Ibirama (Michel *et al.*, 2021);
- Análise de imagens disponíveis no *Google Earth* e no *Google Street View*, além de informações de localização disponíveis em veículos de comunicação diversos;
- Análise das cartas de suscetibilidade de movimentos gravitacionais de massa e inundação e setorização de risco geológico alto e muito alto;
- Análise de mapas temáticos, tais como, litológico, pedológico, geomorfológico, topográfico, uso e ocupação do território, entre outros;
- Geração de cartas de declividade para definir as inclinações preferenciais à geração de MGMs;
- Confeção de geopdfs temáticos para subsidiar a avaliação em campo; Coleta de outras informações relevantes para o estudo.

Atividades de campo

1. Reunião com representantes da Defesa Civil e da Prefeitura de Ibirama (Figura 07);
2. Desenvolvimento das atividades de campo na visita técnica para avaliação do evento nos três municípios atingidos (Figura 08);
3. Caracterização dos processos e coleta de dados referentes ao evento no Alto Vale do Itajaí (Ibirama, Presidente Getúlio, Rio do Sul) (Figura 09);
4. Levantamento dos parâmetros geotécnicos nas cicatrizes de deslizamentos (Figura 10);
5. Coleta de amostras de solo para caracterização em laboratório (Figura 11).
6. Produção de vídeos e materiais informativos sobre o evento e disponibilização para Assessoria de Comunicação do Serviço Geológico do Brasil.

[Vídeo informativo sobre fluxo de detritos em Presidente Getúlio](#)



Figura 07: Reunião com representantes municipais de Ibirama para contextualização do desastre.

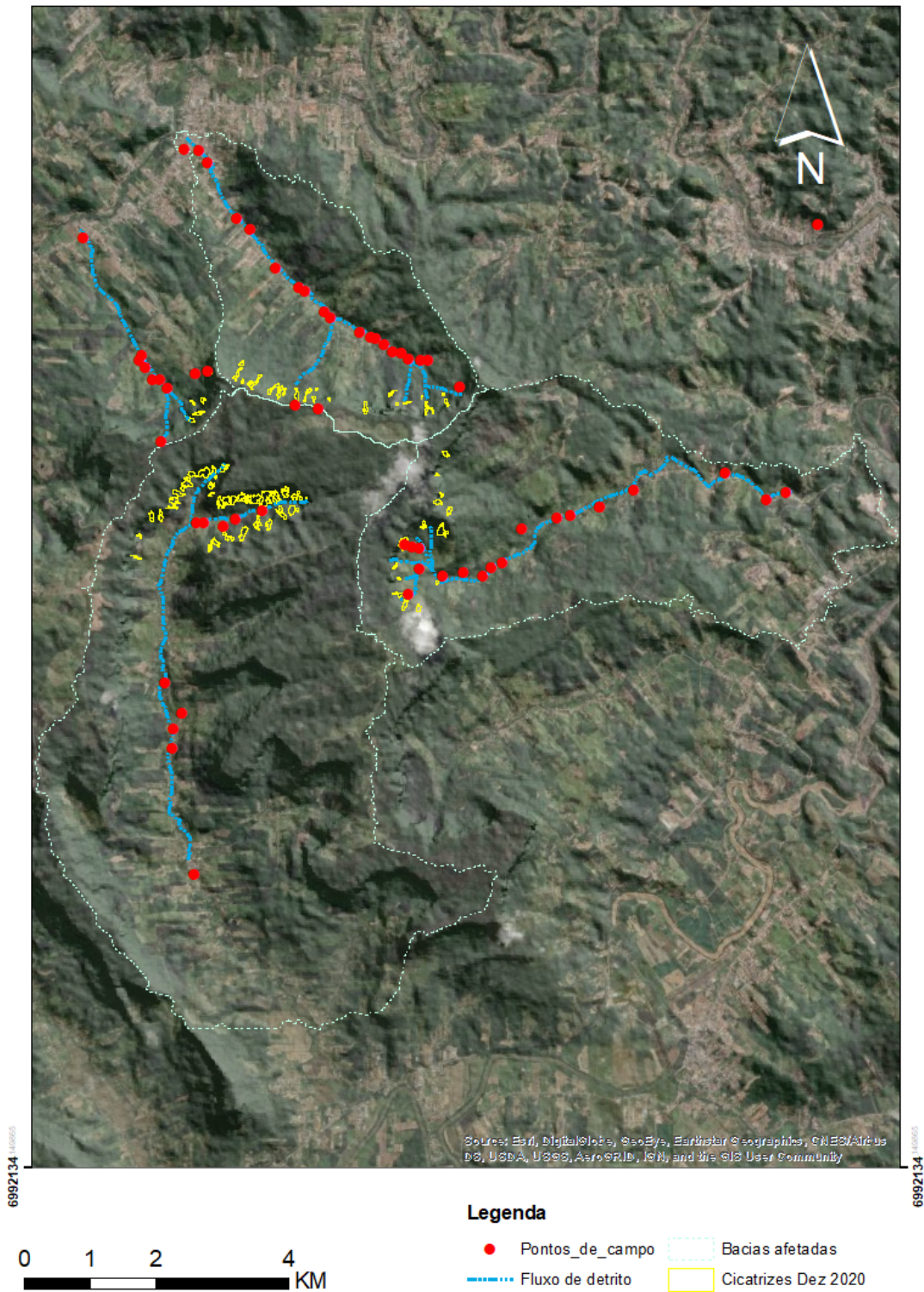


Figura 08: Localização dos pontos de visita técnica para avaliação do evento nos três municípios atingidos.

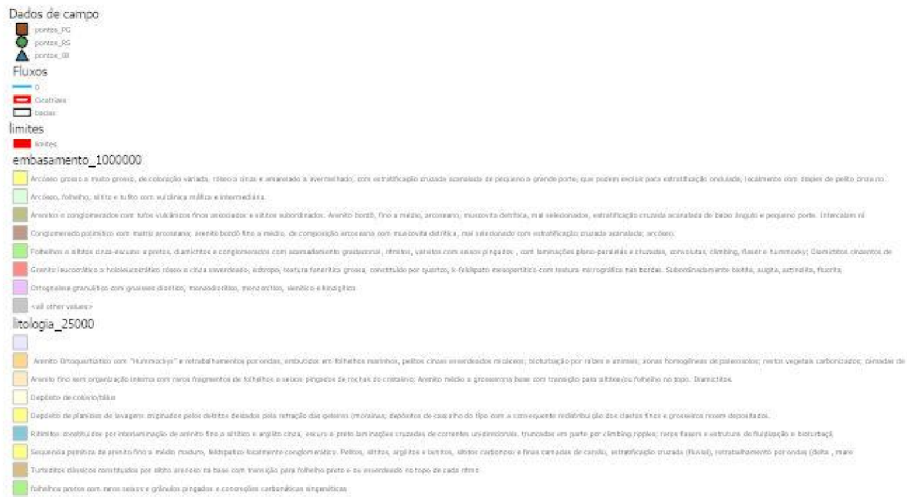
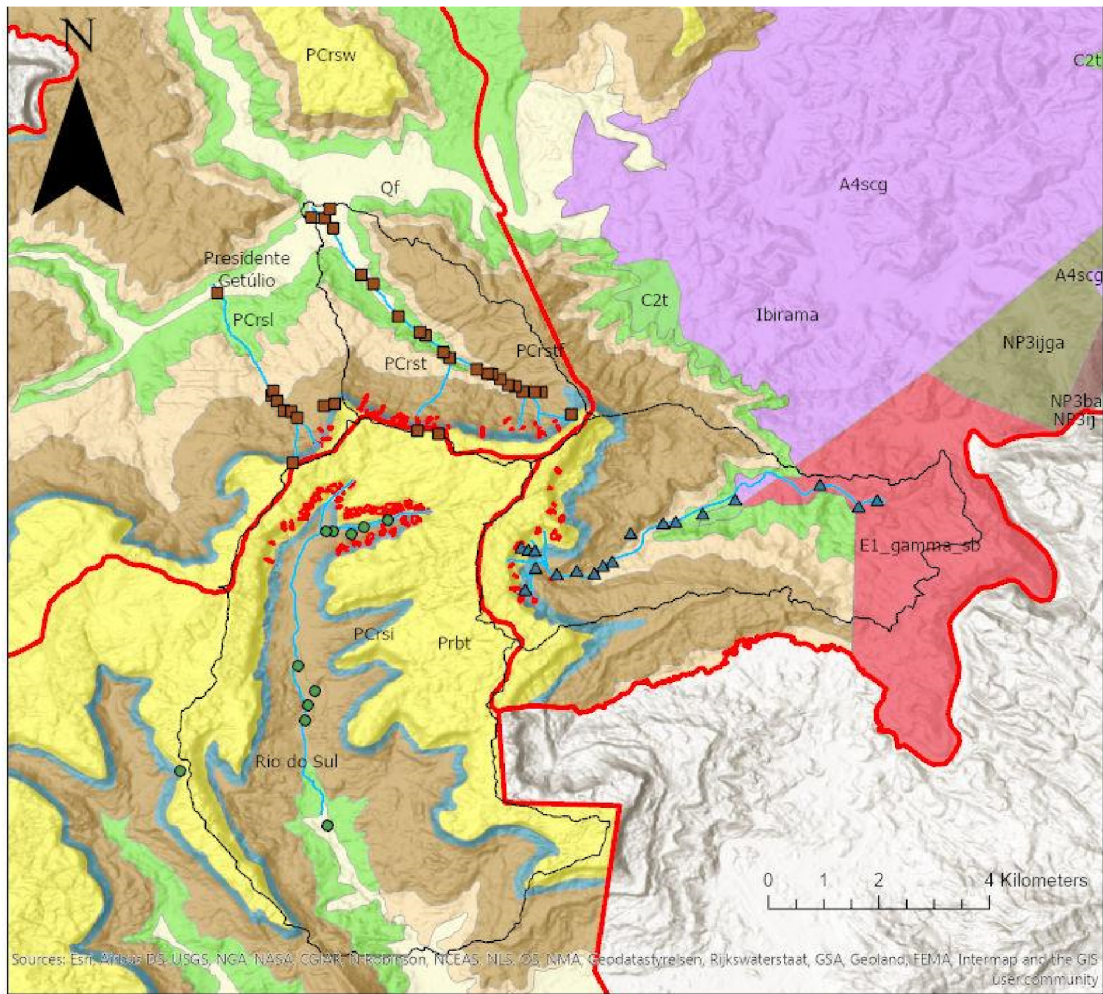


Figura 09: Localização dos pontos relativos às atividades de campo nas bacias atingidas sobre o mapa litológico (Adaptado de: Krebs & Menezes Filho, 1984).



Figura 10: Coleta de dados sobre a geometria e atingimento de deslizamentos planares.



Figura 11: Coleta de amostras para ensaios laboratoriais.

Atividades de pós-campo

1. Organização dos dados coletados em campo e disponibilização aos gestores da DIGEAP e DEGET (documento SIG anexado).
2. Caracterização e delimitação dos processos de MGMs no Alto Vale do Itajaí SC;
3. Confeção das pranchas de risco para o município.
4. Atualização do SIG de Risco Geológico do município e disponibilização para coordenação do projeto.
5. Relatório de cada município sobre o evento de dezembro de 2020 no Alto Vale do Itajaí - SC.

Considerações

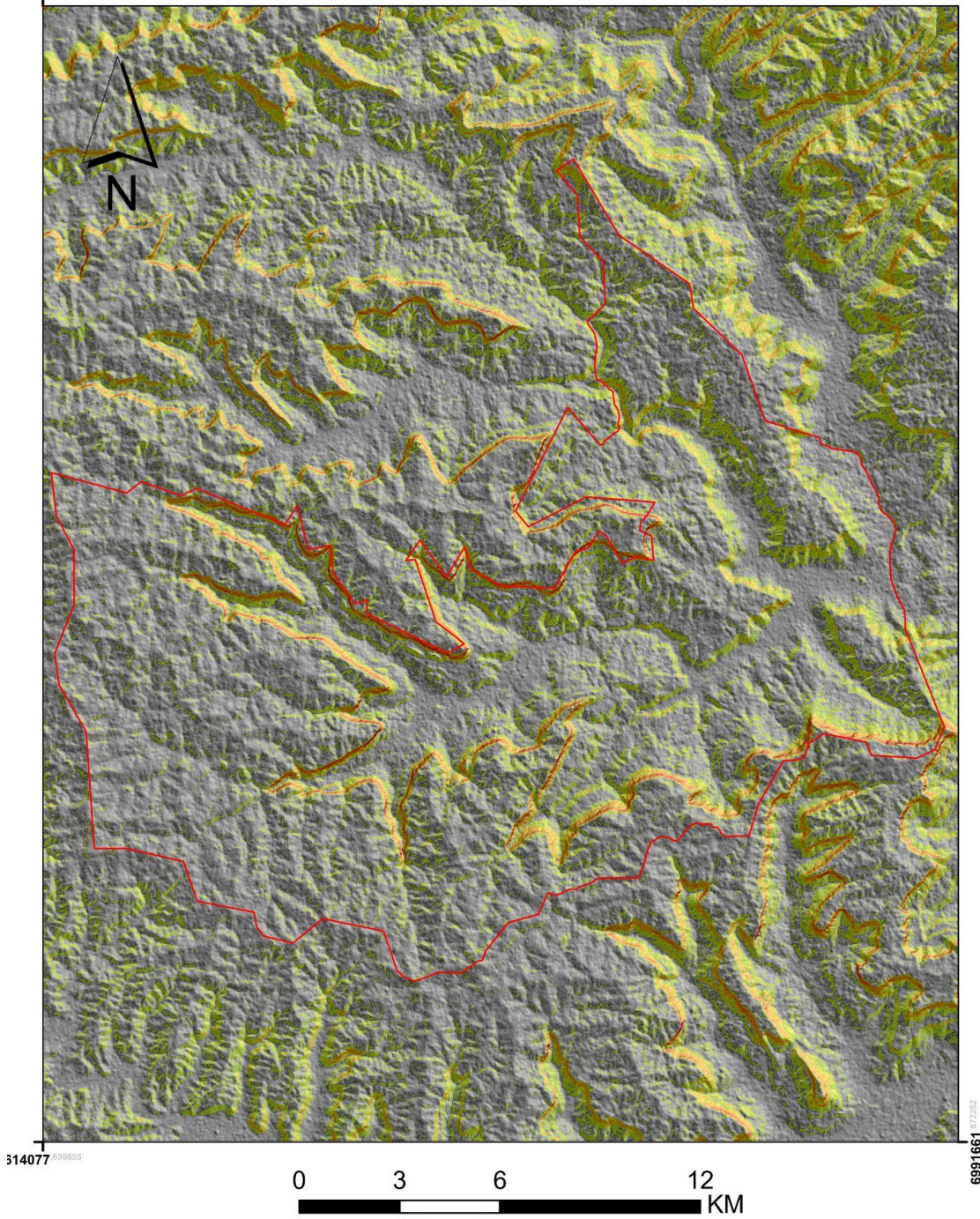
● Análise de Campo

Presidente Getúlio tem uma geomorfologia propícia para geração de movimentos de massa. Apresenta predominância de escarpas, com inclinações entre 45° e 90° (Figura 12) e amplitudes de 250 a 190 metros (Figura 13). As chuvas que ocorreram no Bairro Revólver foram concentradas nos contrafortes que delimitam o município com Rio do Sul e Ibirama. O evento envolveu uma soma de fatores, tais como, precipitações torrenciais localizadas, compartimentação litológica favorável, condições estruturais e o relevo.

O evento de Dez 2020 gerou diversos tipos de processos de Movimentos Gravitacionais de Massa (MGMs):

- Deslizamentos
 - Deslizamentos planares induzidos
 - Deslizamentos planares naturais
 - Deslizamento planar do tipo Cunha
- Processos geo-hidrológicos
 - Fluxos de detritos
 - Enxurradas
 - Inundações

314077 639855



Legenda

SRTM_CPRM_15mDeclividade.img	10 - 15	30 - 45
<VALUE>	15 - 25	45 - 60
0 - 10	25 - 30	60 - 90

Figura 12: Carta de inclinação do município.



Figura 13: Escarpas com inclinações entre 45° e 90° e amplitudes de 190 metros.

Mitchel *et al*, 2020 aponta para pelo menos 98 deslizamentos nas escarpas da Serra do Mirador.

Os topos dos patamares são sustentados pelos arenitos da Formação Rio Bonito (Krebs & Menezes Filho, 1984). Estes arenitos encontram-se com planos de fraqueza que permitem a individualização de blocos (Figura 14). Estes blocos exerceram sobrepressão nas rochas ritímicas e auxiliaram a deflagração do evento.

Abaixo ocorre o ritimito, rocha com intercalações de arenitos finos a siltítico com bandas de argilitos cinzas. As intercalações entre as bandas apresentam diferenças mecânicas que favorecem a geração de processos. Os ritmitos apresentam estrutura de fluidização, isto indica registro pretérito da predisponibilidade mecânica à geração de MGMs.

A maioria dos deslizamentos ocorreram na litologia ritmito (Figura 15), subordinadamente aos turbiditos.



Figura 14: Individualização de blocos de arenito da Formação Rio Bonito.

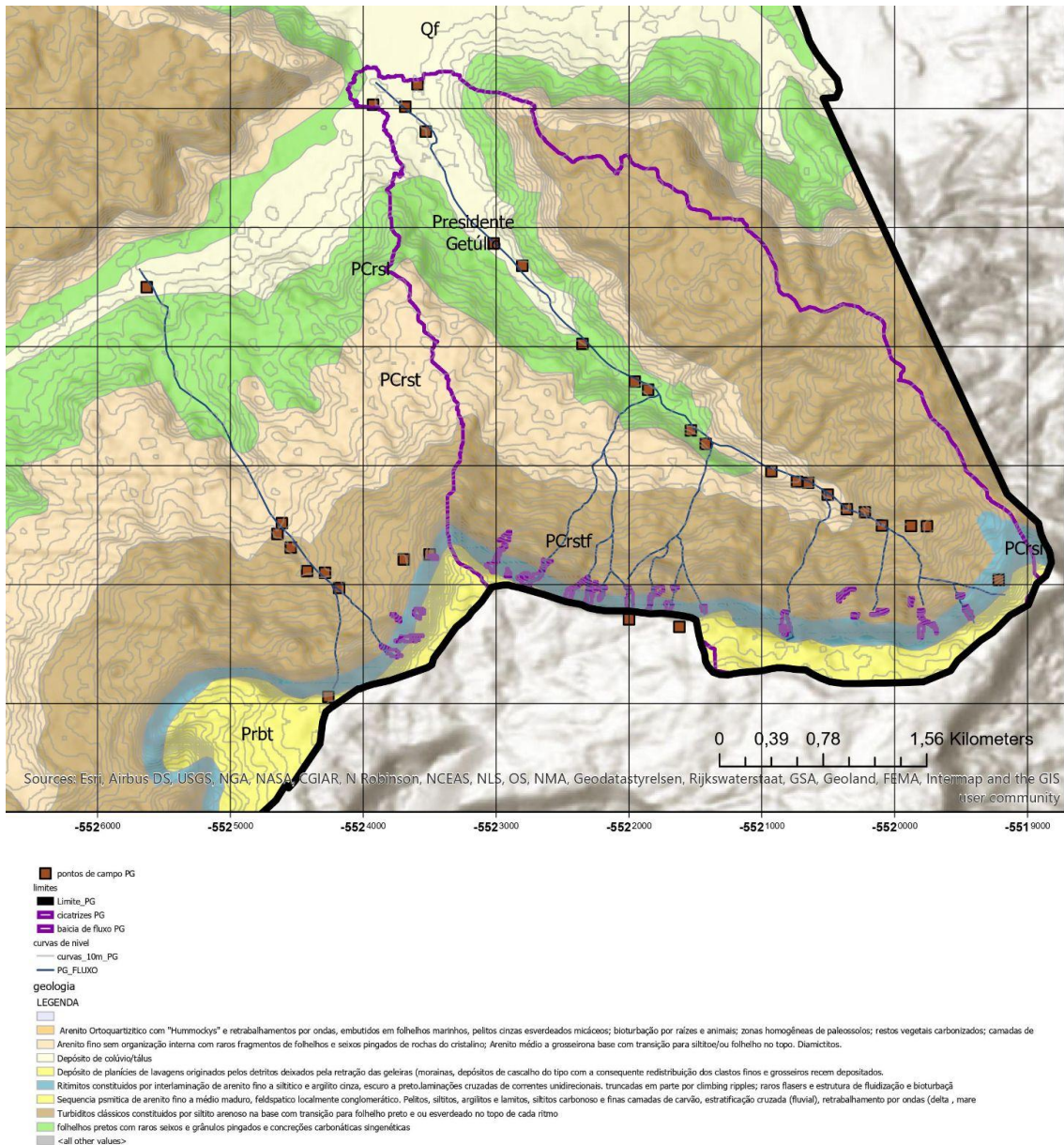


Figura 15: Mapa litológico da Bacia do Rio Revólver (adaptado de Krebs & Menezes Filho, 1984).

Na etapa de campo realizou-se coleta dos parâmetros geotécnicos das cicatrizes de deslizamentos (Figura 16).

635576 000518

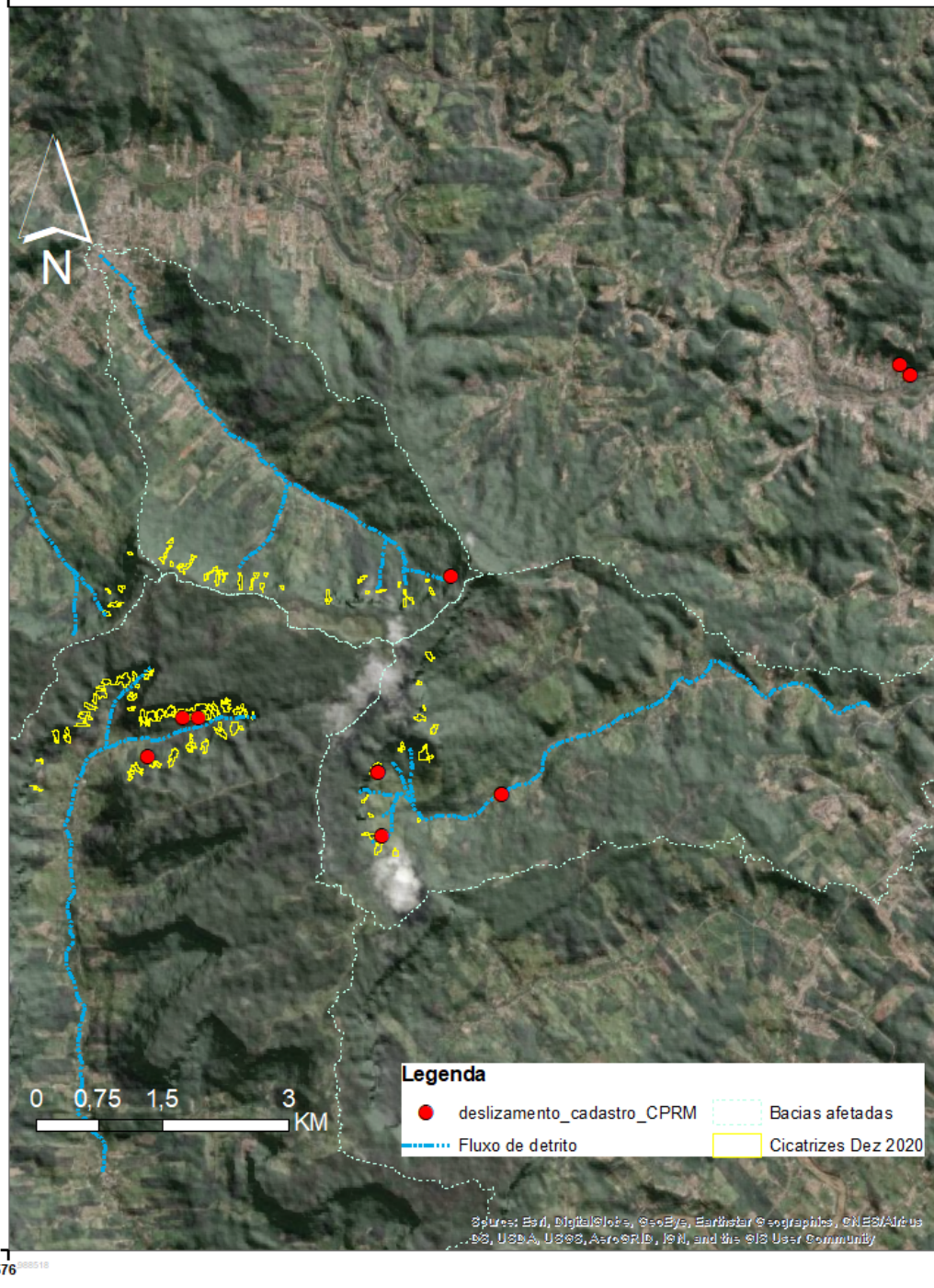


Figura 16: Localização das cicatrizes cadastradas nas atividades de campo.

É importante frisar que algumas das rochas sedimentares presentes foram geradas por processos de movimentos gravitacionais de massa pretéritos. As fácies diamictíticas correspondem a depósitos gerados por fluxos gravitacionais coesivos de alta densidade, denominados fluxo de detritos coesivos ou Fluxo Hiperconcentrado (Guimarães et al., 2015).

As *fácies* conglomeráticas foram formadas a partir de fluxo turbidítico de alta densidade. Algumas *fáceis* areníticas podem ser explicadas por fluxo turbidítico de baixa densidade ou por sedimentação episódica (Guimarães *et al.*, 2015)

Guimarães *et al.*, 2015 apontam uma faciologia arenítica formada por estratos tabulares centi a decimétricos. Formado por grãos de quartzo, subarredondados, bem selecionados e maduros. Apresentam dobras convolutas, com estratificações tabulares e ripples requilares. Estas rochas foram formadas a partir da fluidização de sedimentos inconsolidados.

- **Deslizamentos planares induzidos**

Os deslizamentos de pequeno porte, geralmente encontrados em encostas com topografia natural modificada de forma inadequada. A maioria concentrado na área urbana e periurbana.

Em geral, são de pequeno porte, com superfície de ruptura de até 15 metros. Apresentam ângulo de ruptura variando entre 30° a 40°. Ocorrem parcialmente vegetados. Mobilizando material estimado em média de 110 m³. Com atingimento limitado ao máximo do comprimento. Pela análise de campo, estes foram condicionados pela atividade antropogênica. Entende-se que a intervenção inadequada fragilizou o relevo, de suscetibilidade natural média, e potencializou o início dos processos. Neste estudo adotou-se o termo **deslizamentos planares induzidos** (Figura 17).



Figura 17: Exemplo de deslizamento planar induzido por atividade antropogênica (Ibirama - SC).

- **Deslizamentos planares naturais**

Os deslizamentos planares naturais ocorreram nos três municípios visitados, principalmente nas escarpas dos patamares. São de grande porte, com superfície de ruptura entre 40 a 100 metros. Apresentam ângulo de ruptura variando entre 35° a 70° (Figura 18). Apresentam Razão D/C (distância do material mobilizado pelo comprimento da superfície de ruptura) maior que 1,0. Ocorrem vegetados. Mobilizando material estimado em média de 3362 m³. A distribuição destes deslizamentos pode ser visualizada na Figura 19.



Figura 18: Exemplo de deslizamento planar natural.

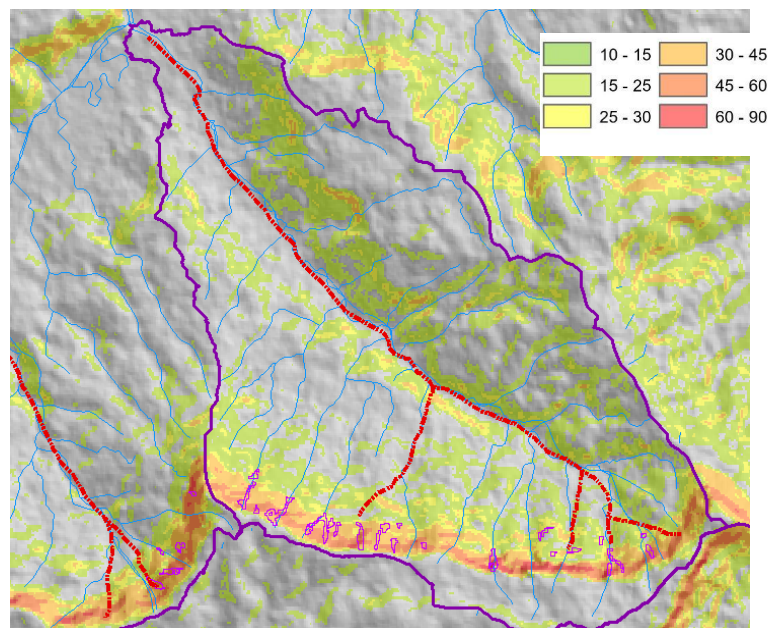


Figura 19: Distribuição das cicatrizes (Mitchell *et al.*, 2021) confrontados com a carta de inclinação . Legenda: Cicatrizes em roxo.

A Tabela 01 apresenta os parâmetros morfométricos dos deslizamentos cadastrados no banco de dados dos municípios.

Tabela 01: Cadastro dos parâmetros morfométricos dos deslizamentos de terra no Alto Vale do Itajaí - SC.

Apêndice A: Cadastro de deslizamentos de terra nos municípios do Alto Vale do Itajaí (SC) - 16-17/12/2020.

FID	Município	Localização	UTM E	UTM N	Tipologia do processo	Largura da superfície de ruptura (m) [1]	Largura média da superfície de ruptura (m) [2]	Largura do material deslocado (m) [3]	Comprimento da superfície de ruptura (m) [4]	Altura da superfície de ruptura (m) [5]	Distância da superfície de ruptura (m) [6]	Distância da área de atingimento (m) [7]	Espessura do material transportado (m) [8]	Ângulo de ruptura (°) [9]	Ângulo da área de deposição (°) [10]	Volume do material transportado (m ³) [11] = $\frac{[1] \times [4] \times [8]}{[2]}$	Tipo de Talude	Curvatura do Talude (Horizontal)	Curvatura do Talude (Vertical)	Condição de saturação do terreno
0	Ibirama	Getúlio Var	646289	7006288	Deslizamento Planar	14,1	14,1	14,1	9	9		8,2	1	55,3	15	126,9	corde	Concava	Concava	Saturado
1	Ibirama	Getúlio Var	646289	7006288	Deslizamento Planar	7,5	7,5	7,5	14,3	14,3		8	1	37,6	15	107,25	corde	Concava	Concava	Saturado
2	Ibirama	Getúlio Var	646289	7006288	Deslizamento Planar	7,5	7,5	7,5	14,7	14,7		8	1	38,2	22	110,25	corde	Concava	Concava	Saturado
3	Ibirama	thur Krambr	646163	7006424	Deslizamento Planar	7,4	7,4	7,4	11	11		3,2	1	40	15	81,4	corde	Concava	Concava	Saturado
4	Ibirama	riirão das Pe	641432	7001306	Deslizamento Planar	12	12	12	8	30		15	1,7	25	22	163,2	Natural	Concava	Concava	Saturado
5	Ibirama	riirão das Pe	641432	7001306	Deslizamento Planar	3	3	3	14	27		18	1,7	31	20	71,4	Natural	Concava	Concava	Saturado
6	Ibirama	riirão das Pe	640018	7000805	Deslizamento Planar	71,25	71,25	40	44	152	100	207	1,7	62,1	12,8	5329,5	Natural	Concava	Concava	Saturado
7	Ibirama	riirão das Pe	639969	7001571	Deslizamento Planar	58	58	83,4	78	110		35	1,3	64	14,9	5881,2	Natural	Convexa	Convexa	Saturado
8	Ibirama	riirão das Pe	639969	7001571	Deslizamento Planar	35	35	41	63,4	99		41	1,3	62	19,2	2884,7	Natural	Convexa	Convexa	Saturado
9	Ibirama	riirão das Pe	639969	7001571	Deslizamento Planar	36,5	36,5	38	80	109		38	1,3	72,7	14,9	3796	Natural	Convexa	Convexa	Saturado
10	sideinte Get	Revólver	640023	7003906	Deslizamento Planar	15	15	25	47	115	77	184	1,8	58,3	16,9	1269	Natural	Convexa	Convexa	Saturado
11	Rio do Sul	lada São Pa	637832	7002211	Deslizamento Planar	30	30	49	96	171	82,4	183	1,5	56,3	23	4320	Natural	Convexa	Convexa	Saturado
12	Rio do Sul	lada São Pa	637646	7002221	Deslizamento Planar	34,2	34,2	27	74	300	191	180	1,3	58	25	3290,04	Natural	Convexa	Convexa	Saturado
13	Rio do Sul	lada São Pa	637231	7001746	Deslizamento Planar	38	38	23	78	150	55	103	1,3	55	26	3853,2	Natural	Convexa	Convexa	Saturado

O Gráfico 01 apresenta a distribuição dos bairros e a contagem dos deslizamentos cadastrados nos três municípios.

Contagem de Localização

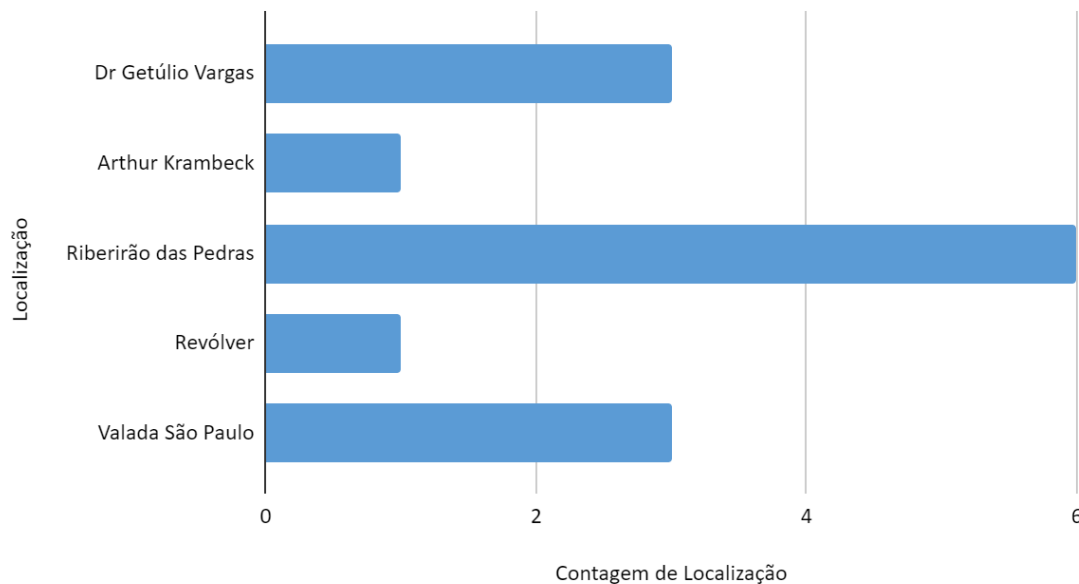


Gráfico 01: Distribuição dos deslizamentos cadastrados e suas localidades.

A análise comprova a variação da inclinação na geração do processo, entre 40° a 70° (Gráfico 02).

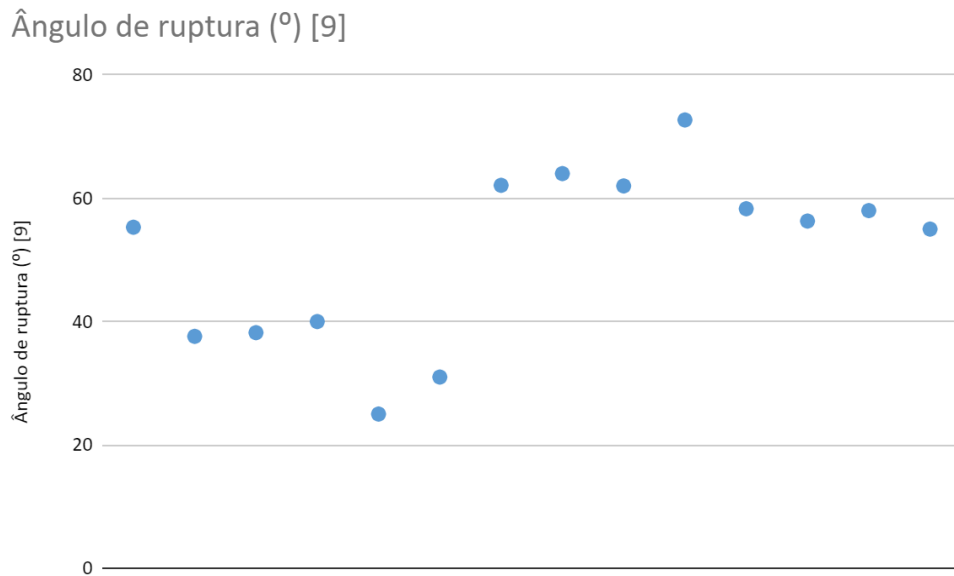


Gráfico 02: Ângulos de ruptura dos deslizamentos cadastrados.

Os deslizamentos com atingimento tendendo ao dobro do comprimento da superfície de ruptura contribuíram para alimentar os fluxos de detritos (Gráficos 03 e 04). A Razão D/C corresponde a divisão entre a distância da área de atingimento com o comprimento da superfície de ruptura.

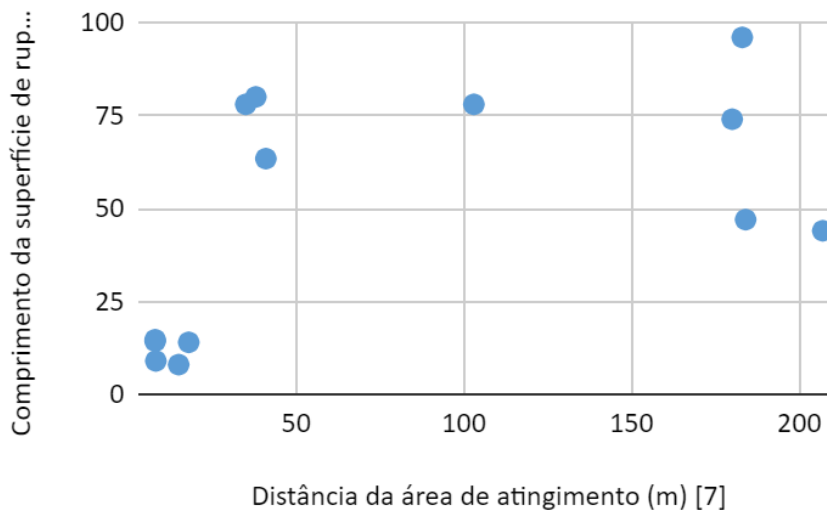


Gráfico 03: Relação entre comprimento da superfície de ruptura e a distância do atingimento.

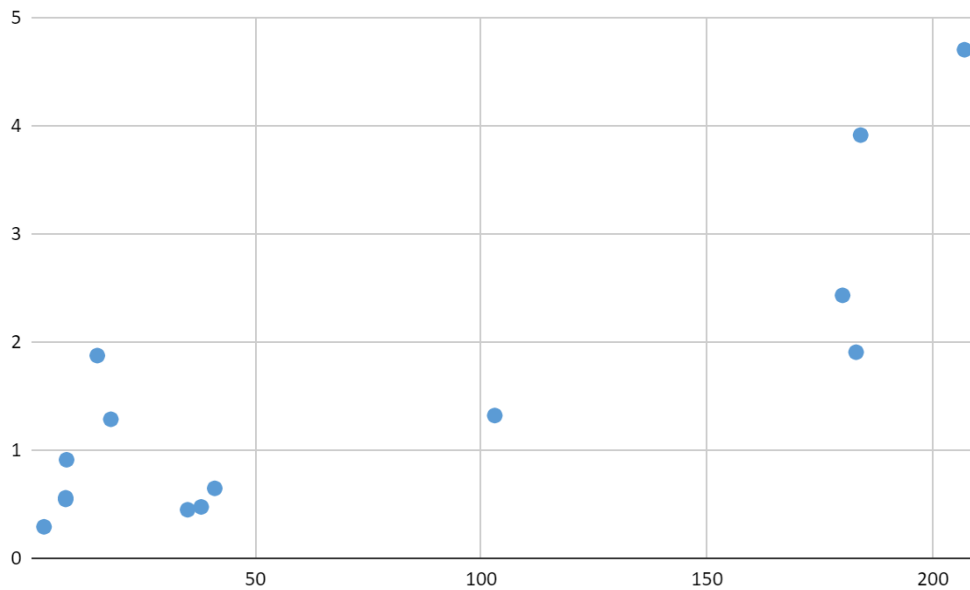


Gráfico 04: Correlação da Razão D/C (eixo Y) com o atingimento máximo dos deslizamentos (eixo X).

As vertentes das encostas apresentam ligeira tendência a convexidade (Gráfico 05).

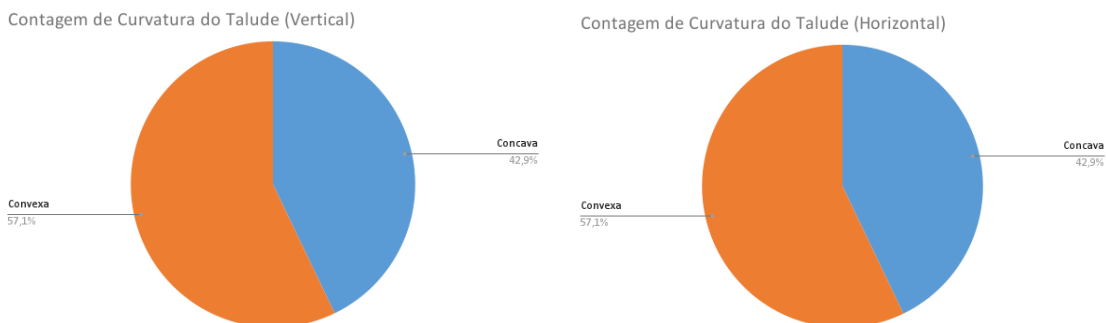


Gráfico 05: Distribuição do tipo de curvatura das encostas.

O Gráfico 06 demonstra que as larguras das rupturas e do material depositado permaneceram semelhantes. Pode-se afirmar que os deslizamentos gerados neste evento não apresentaram espalhamento lateral considerável.

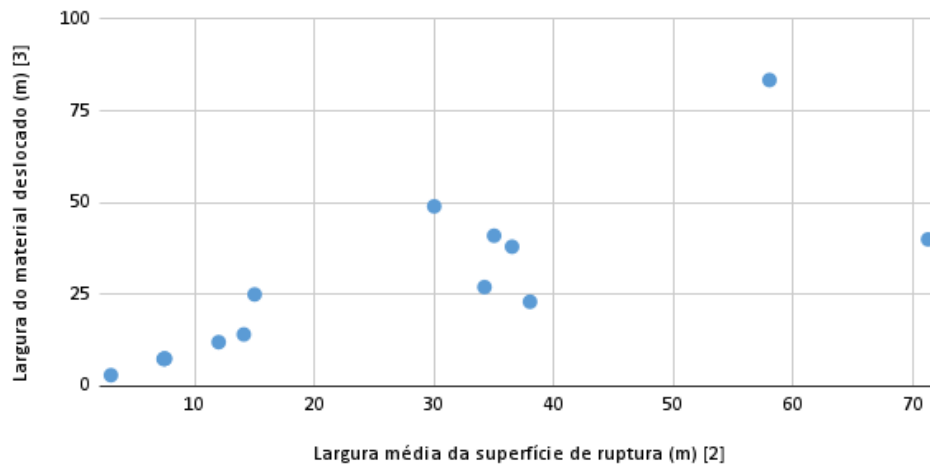


Gráfico 06: Correlação entre larguras de material deslocado e superfície de ruptura.

- **Deslizamento planar do tipo Cunha**

O controle estrutural condiciona três planos de fraqueza [(S0) 280/05, 350/80, 235/80, 190/90] que auxiliam na percolação de água e na deflagração dos MGMs. A Figura 20 apresenta um **deslizamento planar do tipo cunha**, comprovando a favorabilidade.



Figura 20: Controle estrutural com alta potencialidade a indução de MGMs; Ex: Deslizamento do tipo Cunha, Presidente Getúlio - SC.

- **Processos geo-hidrológicos**

O processo geo-hidrológico no Bairro Revólver pode ser dividido em quatro estágios cronológicos. O fator desencadeador do evento foram as precipitações anômalas, concentrada principalmente na Serra do Tucano.

No primeiro estágio, as escarpas com declividades superiores a $16,70^\circ$ da bacia do Rio Revólver receberam aporte hidráulico suficiente para gerar uma sequência de deslizamentos planares rasos, na quebra de relevo. A saturação do terreno provocou a liquefação dos deslizamentos, aumentando o alcance do material transportado (Figura 21).



Figura 21: Cabeceira do fluxo de detritos do Bairro Revólver - Presidente Getúlio - SC.

A configuração morfométrica em anfiteatro da bacia do Revólver favoreceu a captura do material para drenagem principal. O desnível de 384 metros, entre as áreas de geração e deposição, aumentou a velocidade de escoamento, promovendo aumento de energia do processo. Os fluxos de detritos observados, no segundo estágio, foram de alta energia, mobilizaram sedimentos, tronco de árvores consideráveis e blocos de rocha com dezenas de metros, em massa d'água com alta viscosidade. A alta densidade do material conferiu alto potencial destrutivo.

O terceiro estágio é marcado pela perda de energia de transporte do fluxo de detritos. A inclinação suave do terreno promoveu aumento do arraste dos blocos de rochas. Os mesmos tendem a depositar espalhados cerca de 30° do eixo do fluxo principal. O fluxo perde viscosidade, predomínio de material fino suspenso. Este

momento é marcado pela força da água como o principal fator destrutivo. Neste estágio o fluxo de detritos se transforma em enxurrada (Figura 22).



Figura 22: Porção média do evento. Início da enxurrada.

O estágio final representa a dissipação da energia da enxurrada. Entretanto, no centro do município, o Rio Revólver deságua no Rio dos Índios, este por sua vez é afluente do Rio Hercílio. O aumento do aporte hídrico, a confluência das drenagens e o barramento hidráulico promoveram uma grande área de inundação (Figura 23). A Figura 24 apresenta a cartografia do evento no Bairro Revólver.



Figura 23: Porção final do evento. Planície de inundação e confluência dos rios Revólver, dos Índios e Kraul. Predomina a inundação.

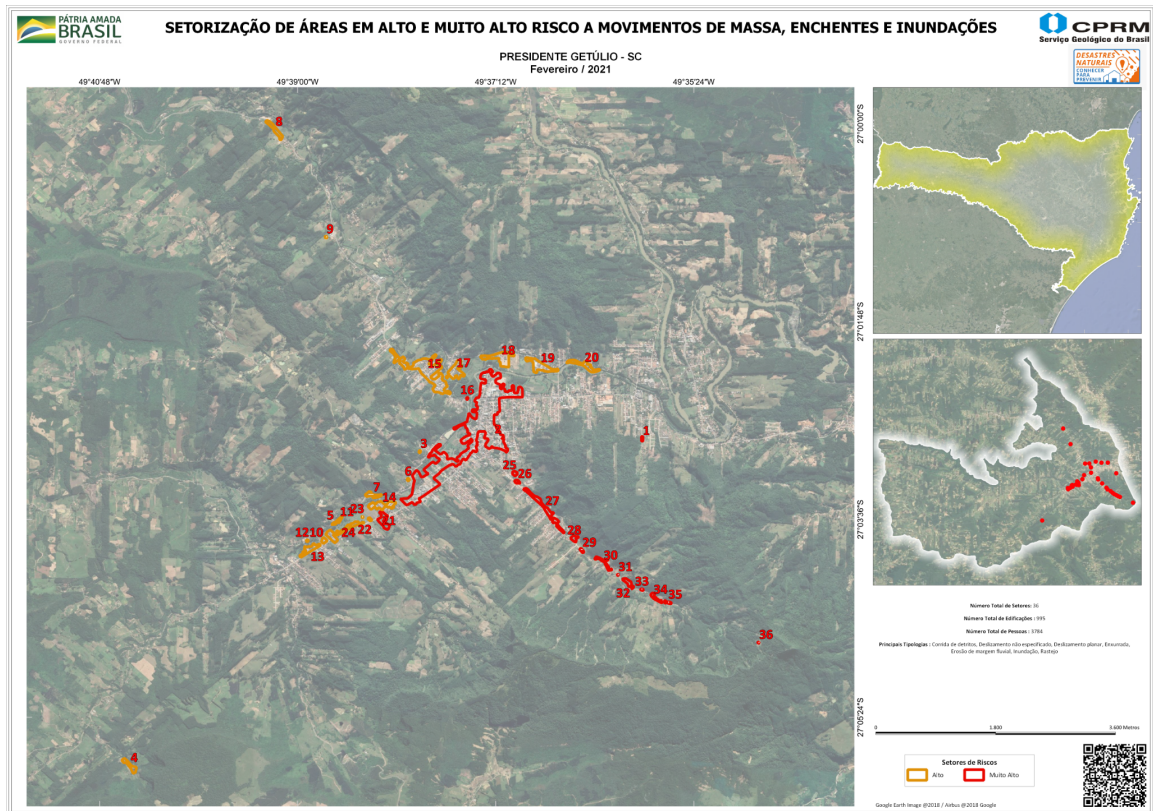


Figura 24: Atualização do risco geológico de Presidente Getúlio - SC. Vista de campo em fevereiro de 2021.

A Figura 25 apresenta a síntese dos processos geo hidrológicos no evento de dezembro de 2020. A vistoria de campo permitiu identificar um novo fluxo de detritos que ainda não havia sido reportado/mapeado pela defesa civil. Foram identificados novos locais de deslizamentos de terra além dos reportados. Não se sabe se estes evoluíram para novos fluxos. É necessária investigação neste novo local para maior compreensão das condicionantes de deflagração de MGMs na região.

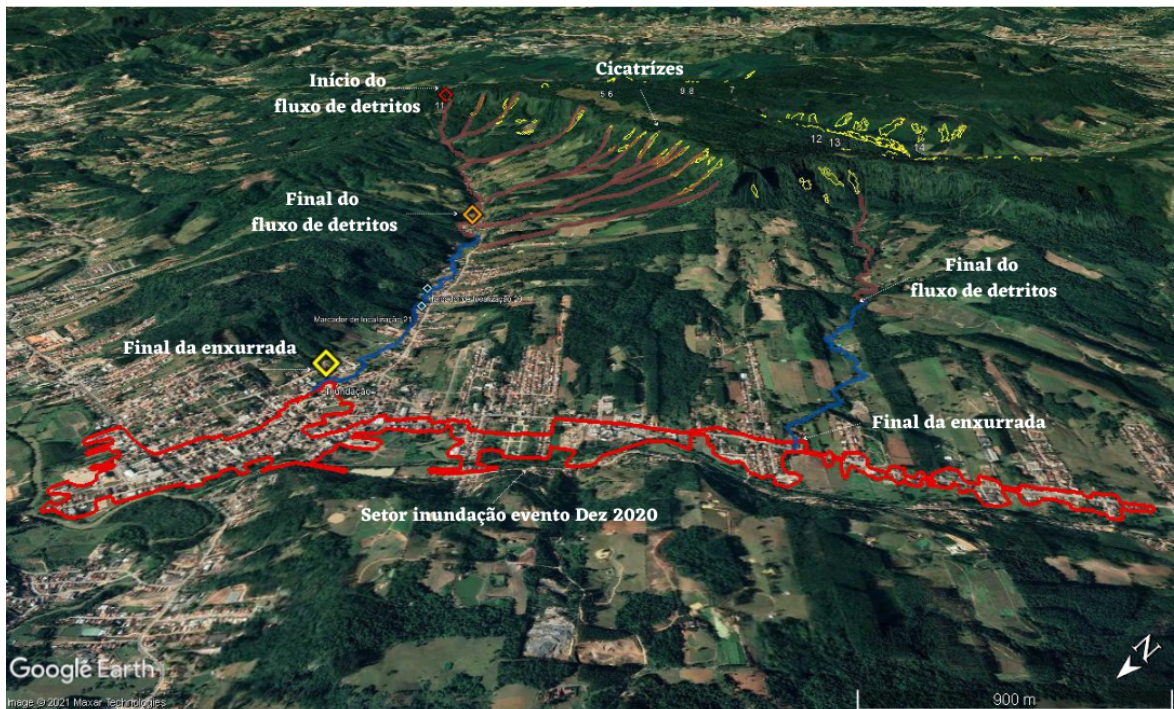


Figura 25: Vista panorâmica da síntese dos processos geo hidrológicos em Presidente Getúlio

No evento de dezembro de 2020 envolvendo os três municípios afetados, constam como resultado dos processos, vitimando 21 pessoas, 100 desalojados, e pelo menos 172 desabrigados. O evento destruiu pelo menos 80 residências, além dos danos causados na infraestrutura urbana (pontes e vias), interrupção de energia e água potável (Figura 26). Até a data do levantamento de campo (2 meses depois do evento), parte da população afetada ainda não tinha acesso à rede de saneamento básico.

A Figura 27 apresenta os novos setores de risco geológico acrescidos ao risco, em função dos fluxos de detritos e enxurradas gerados no evento de dezembro de 2020, respectivamente, (1) depois e (2) antes.



Figura 26: Exemplos de construções destruídas ou danificadas pelo fluxo de detritos em Presidente Getúlio - SC.







Figura 27: Imagens comparativas de antes e depois do evento de dezembro de 2020. Legenda: 1 - Depois do evento 2 - Antes do evento.

A Figura 28 apresenta a delimitação da área de influência do fluxo de detrito do Bairro Revólver. Contendo os setores de risco sujeitos aos impactos.

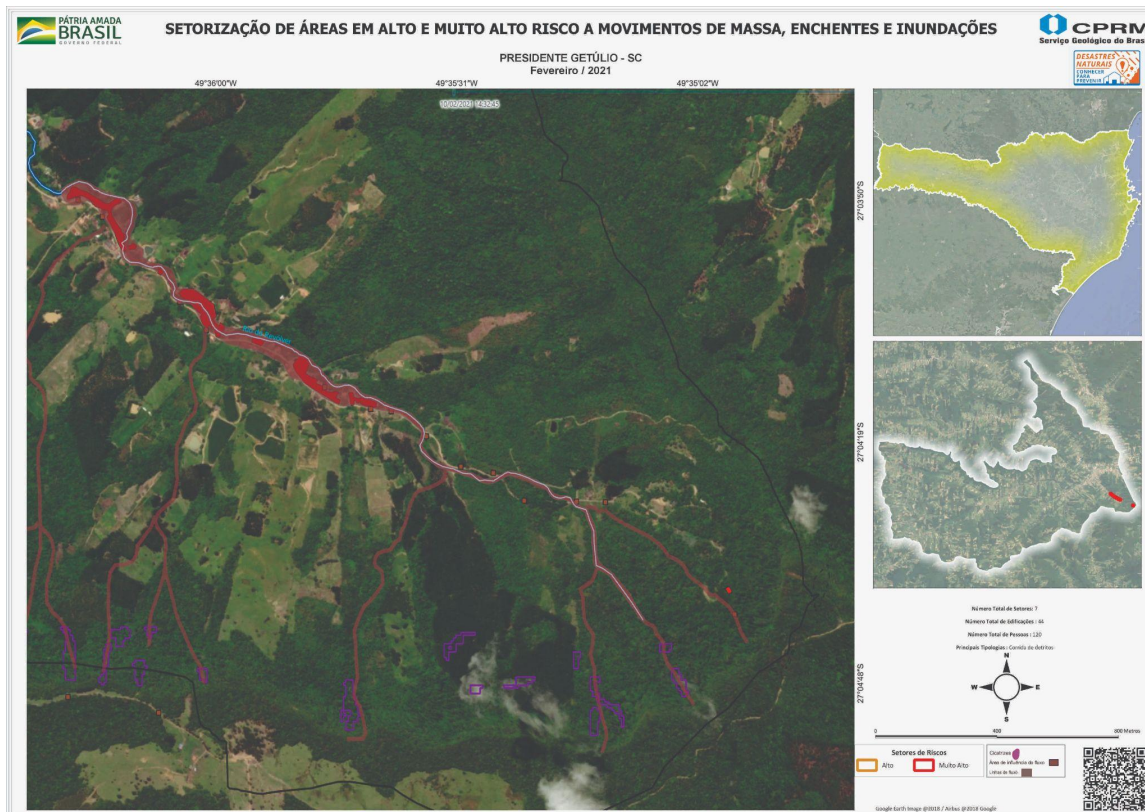


Figura 28: Área de influência de fluxo de detritos.

É digno de nota a resiliência no local, a maioria das construções danificadas foram reconstruídas e/ou reparadas. Os blocos de rocha transportados durante os fluxos foram enterrados ou acomodados ao longo das drenagens. Este fato obliterou informações valiosas e descaracterizaram os registros dos processos originais, o que dificultou o entendimento sobre a dinâmica dos mesmos. Com isso, salientamos a necessidade de equipes técnicas do SGB/CPRM visitarem os locais atingidos por estes eventos o quanto antes.

Em contradição, mesmo com a alta resiliência regional, alguns locais ainda encontram impossibilitado o acesso, sendo necessária mais uma visita para melhor coletar os dados nesses locais.

• Metodológicas

A modelagem regional de suscetibilidade a MGMs e inundação foi assertiva. As áreas classificadas em alto, médio e baixo corresponderam com relevância ao evento ocorrido em 2020. A modelagem de MGMs demonstrou que todas as cicatrizes de deslizamentos geradas pelo evento ocorrem na classe alta (Figura 29).

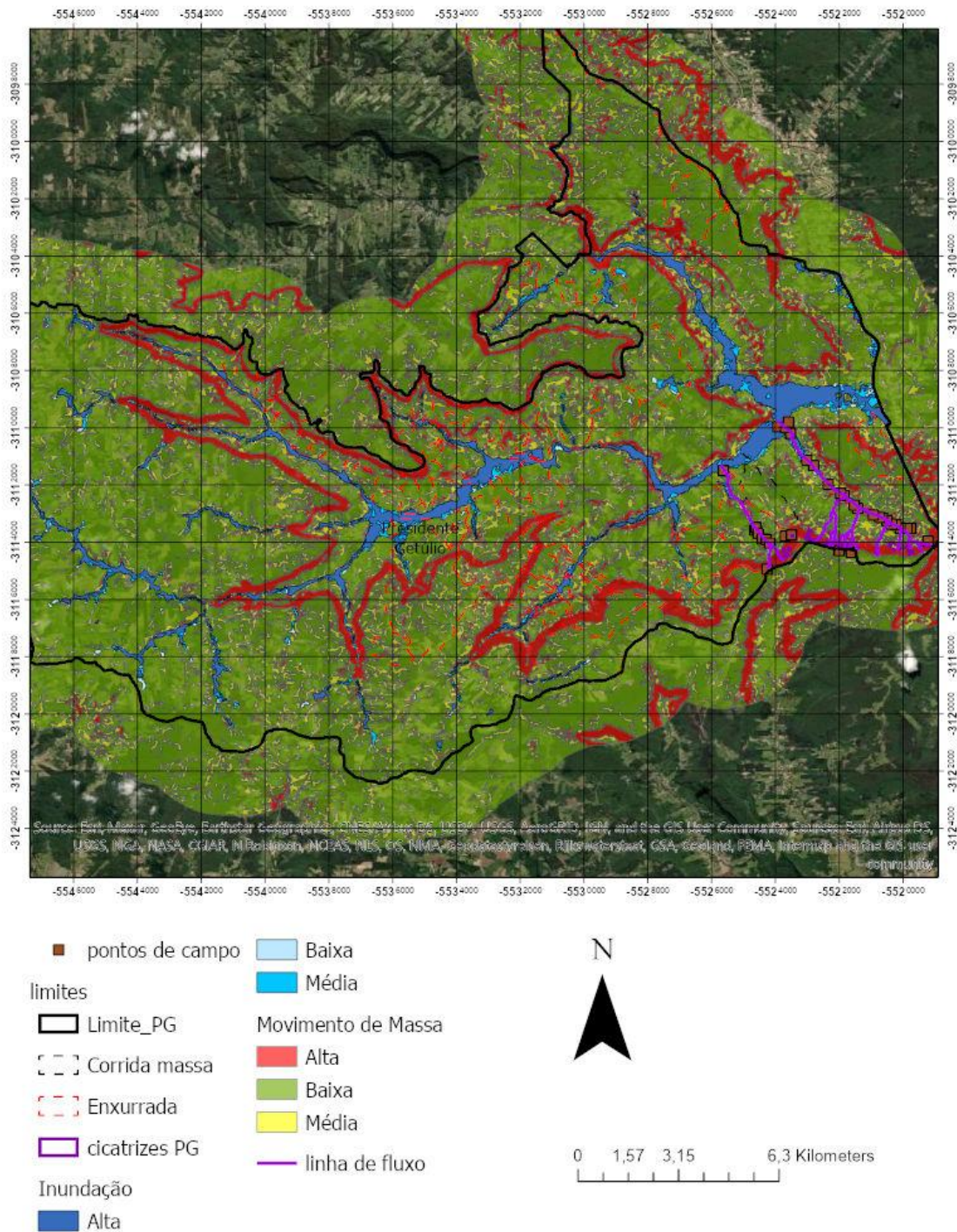


Figura 29: Modelagem para MGMs e inundação do SGB/CPRM para o Estado de Santa Catarina. Cortesia da Divisão de Geologia Aplicada do DEGET.

Na atual metodologia de suscetibilidade as microbacias de enxurradas são individualizadas pela curvatura do relevo. A Figura 30 apresenta a bacia do Revólver. Ela não foi identificada na modelagem como potencial para enxurrada e/ou fluxo de detritos. Neste sentido, as bacias maiores deveriam ser classificadas como bacias de fluxo de detritos.

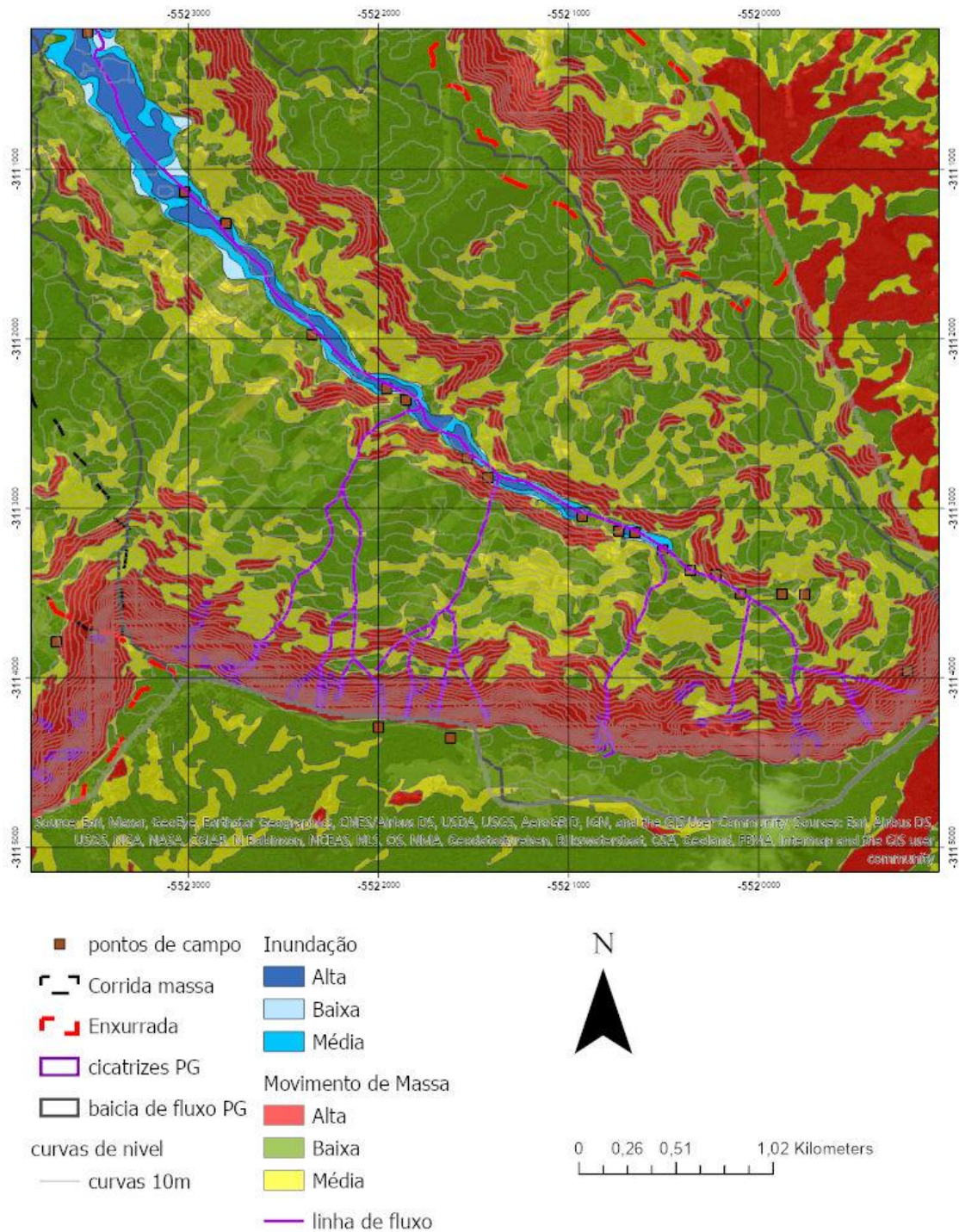
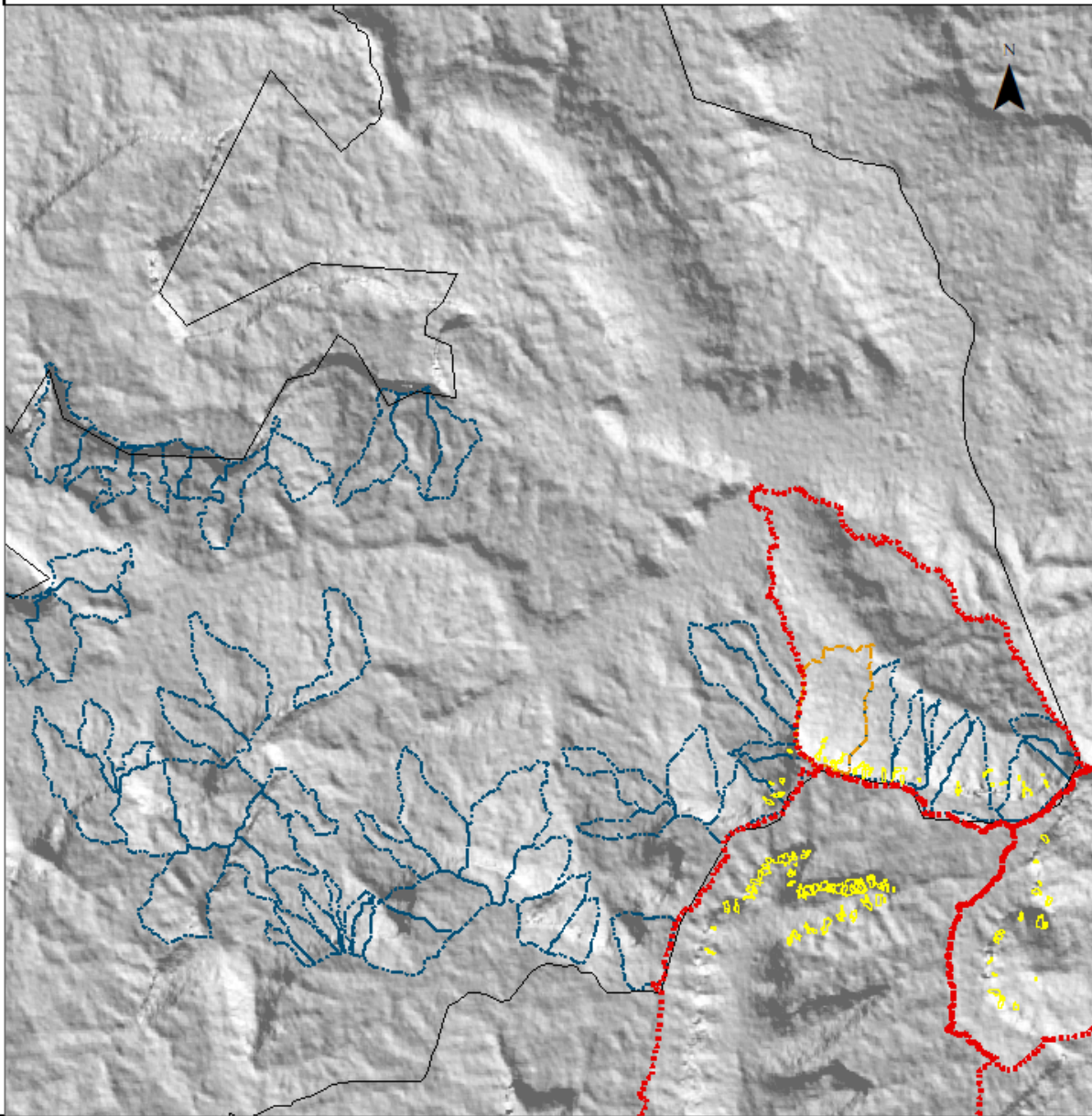


Figura 30: Linhas de fluxos do revólver, modelagem de suscetibilidade não conseguiu determinar a bacia de fluxo ocorrido em dezembro de 2020

O evento Dez 2020 demonstrou que pequenas bacias de “enxurradas” geraram pequenos fluxos que alimentaram o canal de drenagem principal, evoluindo para um fluxo de detritos com maior energia. Neste sentido, o alcance máximo foi potencializado (Figuras 31 e 32).

626069 020904



626069 020904

Legenda

- | | |
|--|---|
|  Suscetibilidade Corridas |  Cicatrizes Dez 2020 |
|  Suscetibilidade Enxurradas |  Bacias afetadas |

0 1,5 3
Km

6999083 104708

Figura 31: Bacias suscetíveis a enxurradas e fluxo de detritos da modelagem regional do Estado de Santa Catarina e da Bacia do Revólver.

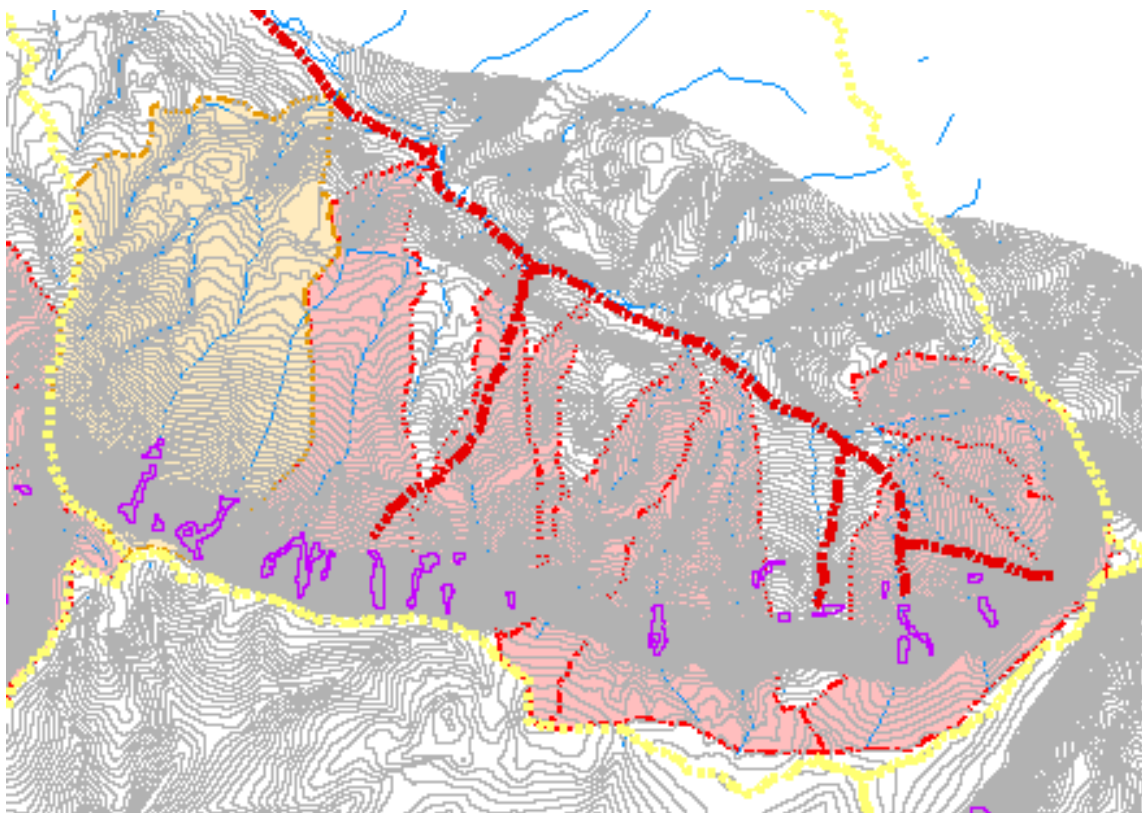


Figura 32: Detalhe da bacia do Revólver e a individualização de micro-bacias de enxurrada, na modelagem regional de suscetibilidade. Legenda: Bacia de fluxo de detritos em laranja, bacias potenciais a enxurrada em vermelho. Linha tracejada em vermelho demonstrando o fluxo de detrito do evento Dez 2020, cicatrizes de deslizamento do evento em roxo e delimitação da Bacia do Revólver tracejada em amarelo.

De modo geral, as bacias modeladas não previram a potencialidade de fluxo de detritos na localidade afetada. Sugere-se que a metodologia de identificação de enxurradas e fluxos deveria ser atualizada, incorporando novos parâmetros e sem diferenciação entre enxurrada e fluxo de detritos.

Ademais, considera-se que toda bacia de enxurrada e/ou fluxo de detrito deveria ser classificada como **bacias sujeitas a processos geo-hidrológicos de alta energia**.

Entende-se que é necessário a incorporação sistemática de metodologia de análise de risco direcionada à estas bacias. Bem como, a disseminação para toda equipe técnica de campo.

A área urbana de Presidente Getúlio (SC) já havia sido setorizada em 2012 por uma equipe da CPRM. Naquela situação foram identificados oito (08) setores de risco a movimentos de massa, inundações e processos correlatos. A atualização da setorização ocorreu em 2018, baseada de acordo com as informações prestadas pela Coordenadoria Municipal de Defesa Civil e coletadas em campo.

O setor SC_PRESIDE1_SR_02_CPRM é a principal área de risco do município. Se refere ao registro de inundações recorrentes dos rios Kraul e Índios. Os eventos de

inundação ocorreram em 2011, 2013, 2014 e 2015, sempre entre janeiro e março (Figura 33).

Algumas áreas não receberam nenhuma intervenção que minimize ou mitigue os riscos. Outras áreas são resultados da expansão urbana sobre áreas suscetíveis a processos de inundação ou movimentos de massa e foram delimitadas como setores novos (CPRM, 2018).

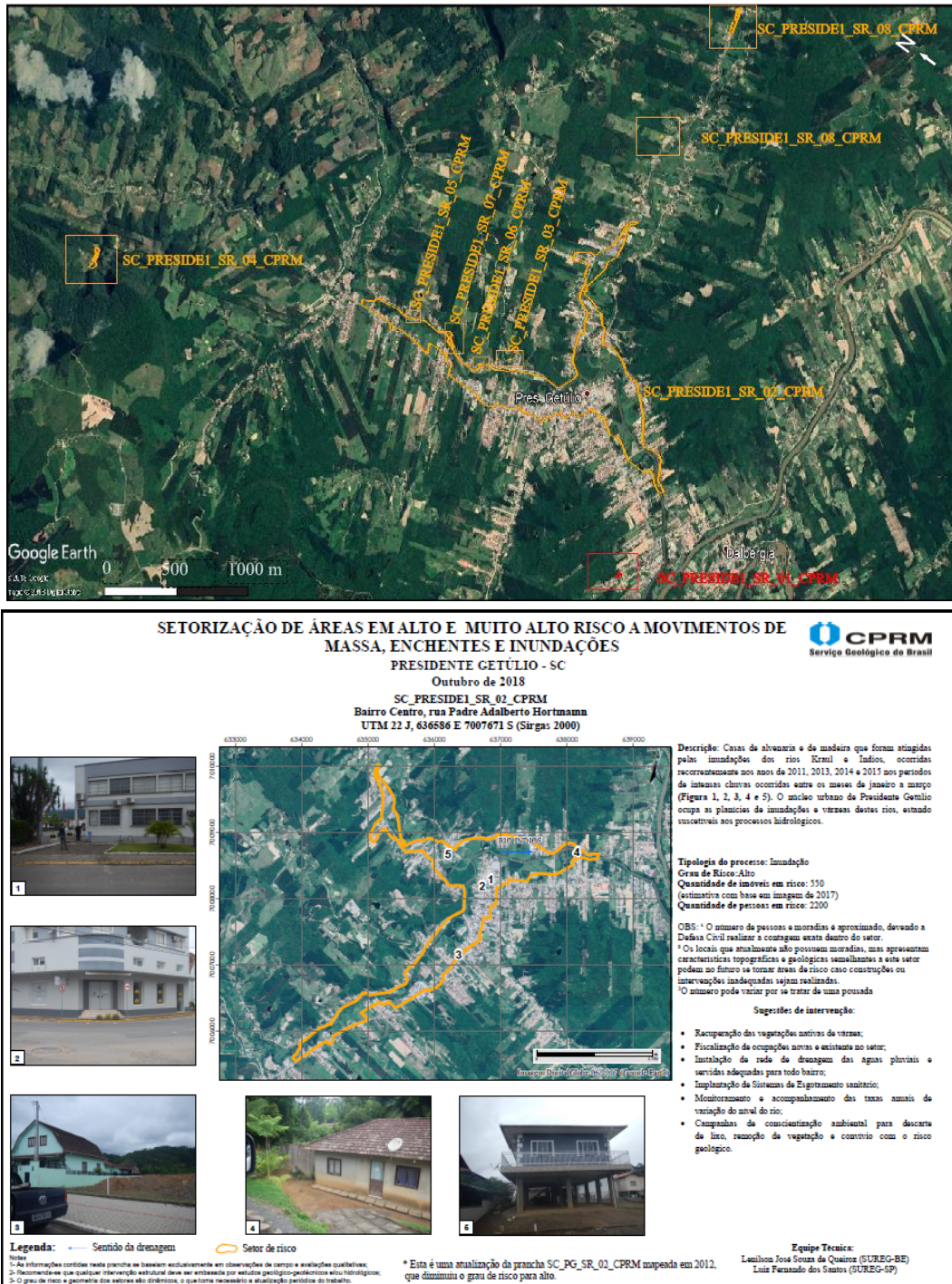


Figura 33: Mapa índice e prancha do setor SC_PRESIDE1_SR_02_CPRM - Setorização de áreas de risco geológico realizado pela CPRM em 2018 (CPRM, 2018).

A Figura 34 apresenta a setorização de risco (CPRM, 2012, CPRM, 2018) e as cicatrizes de deslizamento do evento de Dez 2020.

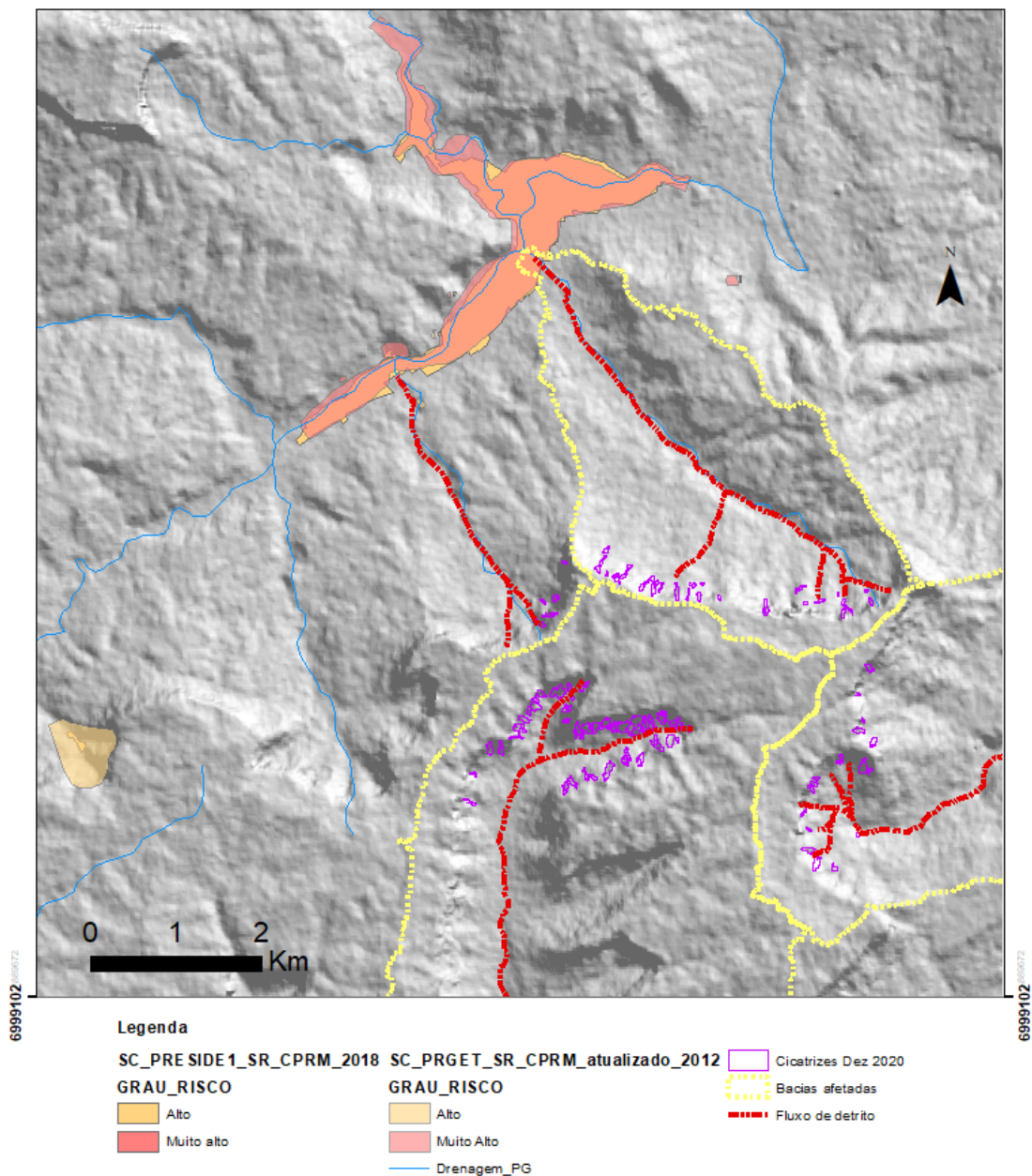


Figura 34: Setorização de Risco Geológico (CPRM, 2012 e 2018) e cicatrizes do evento Dez 2020.

A Figura 35 apresenta a delimitação dos processos ocorridos no evento Dez 2020. O presente relatório modificou o polígono de inundação SC_PRESIDE1_SR_02_CPRM foi aumentado em função do evento Dez 2020. O polígono de inundação foi subdividido, para se ajustar à nova metodologia, com isso gerando um aporte de mais 27 setores, juntando os de fluxo de detrito e enxurrada.

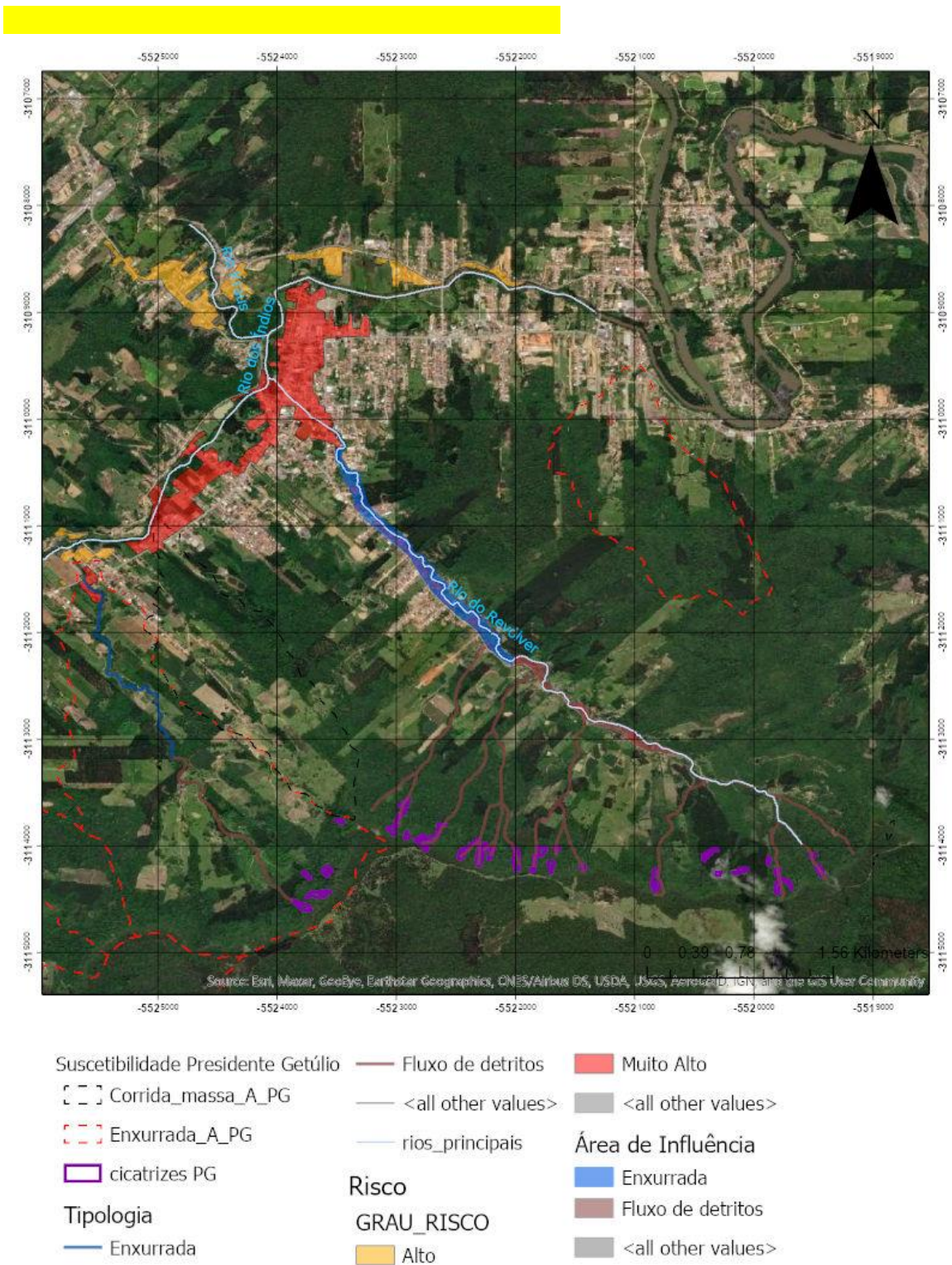


Figura 35: Atualização do setor de risco a inundação, SC_PRESIDE1_SR_02_CPRM.

Recomendações

Recomenda-se a continuação das atividades de campo para coletar informações relevantes para melhor caracterização do evento de dezembro 2020 no município;

Recomenda-se a revisita técnica para a atualização sistêmica da setorização do risco geológico alto e muito alto a MGMs e Inundação em Presidente Getúlio;

Recomenda-se a modelagem de perigo e avaliação de campo da bacia hidrográfica do Córrego Revólver, bem como, nas principais encostas do perímetro urbano do município;

Recomenda-se a aplicação da metodologia de risco nos setores de perigo, de acordo com o preconizado no manual de mapeamento de perigo e risco - Projeto GIDES (Pimentel & Dutra, 2018) de modo a avaliar a viabilidade de incorporação na metodologia de setorização de risco.

Equipe técnica

Thiago Dutra
Victor Augusto Hilquias Silva Alves

Referências Bibliográficas

CPRM, 2012. Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Presidente Getúlio, Santa Catarina <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18812.1>

CPRM, 2018. Setorização de áreas em alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações: Presidente Getúlio, SC. Orgs: Queiroz, L. J. S. e Santos, L.F.. <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18812>

IBGE, 2021. População estimada: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2020. Site IBGE, Consulta: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/presidente-getulio.html> acesso 17/05/2021 às 11:00hs.

IBGE, 2010. Densidade demográfica: IBGE, Censo Demográfico 2010.

Guimarães, D. P., Branco, H. C., Andreis, L.G.K. 2015. Relatório de mapeamento sedimentar - Região de Mirador, Presidente Getúlio (SC). Universidade Federal do Paraná. 36pp. DOI: [10.13140/RG.2.2.25732.17289](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25732.17289)

Krebs, A. S. J.; Menezes Filho, N. R. de. Mapa geológico: folhas de Witmarsun, Dona Ema, Taió, Rio do Sul, Trombudo Central, Itaporanga. In: Projeto mapeamento geológico para carvão área de Taió / Rio do Sul, SC: relatório final. Porto Alegre: CPRM; DNPM, 1984. 1 mapa. Escala 1:50.000. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/3474>

Mack, R. 2001. Breves Notícias Sobre a Geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. Brazilian Archives of Biology and Technology - An International Journal. pp 169 - 288. ISSN 1516-8913

Michel, G. P.; Schwarz, H.; Abatti, B.H.; Paul, L.R.; Silva, M.A.; Zanandrea, F.; Salvador, C.G.; Censi, G.; Biehl, A.; Kobiyama, M. Relatório técnico dos desastres de dezembro de 2020 nos municípios de Presidente Getúlio, Ibirama e Rio do Sul - SC. Volume I. porto Alegre: GPDEN/IPH/UFRGS, 2021. 53p.

Milani, E. & Melo, J. & Souza, P. & Fernandes, L. & FRANÇA, A.. (2007). Bacia do Paraná. Boletim de Geociências - Petrobras. 15. 265-287.

Oliveira, V.G. e Nascimento, M.S. 2018. GEOLOGIA DA PORÇÃO NORTE DA FOLHA DE RIO DO SUL (SG-22-Z-C-III2), LESTE DA BACIA DO PARANÁ, REGIÃO DE PRESIDENTE GETÚLIO E IBIRAMA (SC). Anais digitais do 49º Congresso Brasileiro de Geologia. <http://cbg2018anais.siteoficial.ws/resumos/8803.pdf> Acesso em 02/08/2021 às 09:00.

Pimentel, J. & Dutra, T. dos S. 2018. Manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil SGB/CPRM. 2018.

Versão 1. 213 p. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Projeto-GIDES-JICA-5393.html>

Pozzobon, M. ; Pimentel, J. ; Silva, S. F. ; Dutra,T.; Pfaltzgraff, P. ; Peixoto, D.; Rodrigues, D. ; Brenny, M. E. . A evolução recente das metodologias de mapeamento de perigo e riscos a movimentos gravitacionais de massa no Brasil.. In: Marcos Mattedi; Leandro Ludwig; Maria Roseli Rossi Avila. (Org.). Desastre de 2008+10 Vale do Itajaí: Água, Gente e Política - Aprendizados. 1ed.Blumenau - SC: Edifurb, 2018, v. 1, p. 91-114.