



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Diagnóstico Preliminar

Descritivo dos eventos ocorridos no dia 5 de janeiro de 2017 entre as regiões dos municípios de São Francisco de Paula e Rolante/RS.

Equipe Técnica

Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável:

Eng. Agr. Fernando S. Meirelles – Diretor do Departamento de Recursos Hídricos

Eng. Amb. Amanda W. Fadel – Técnica da Divisão de Outorga e Fiscalização

Eng. Agr. José Roberto F. de Paula - Técnico da Divisão de Planejamento e Gestão

Geógr. Karolina Turcato - Técnica da Divisão de Planejamento e Gestão

Geógr. Luciano B. Cardone - Técnico da Divisão de Outorga e Fiscalização

Met. Cátia Valente - Técnica da Sala de Situação

Eng. Amb. Marcela P. Nectoux – Técnica da Sala de Situação

Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS:

Prof. Masato Kobiyama – Professor Titular e Coordenador do GPDEN

Prof. Fernando M. Fan – Professor Adjunto

Prof. Gean Paulo Michel - Professor Adjunto

Eng. Amb. Arthur Tschiedel - Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Eng. Amb. Franciele Zanandrea – Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Eng. Amb. Maurício A. Paixão – Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

João Vicente Z. Godoy – Graduando em Engenharia Hídrica

Porto Alegre, Janeiro de 2017.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

APRESENTAÇÃO

Desde 2013 a Sala de Situação, vinculada à Divisão de Planejamento e Gestão, Departamento de Recursos Hídricos/SEMA, funciona como um centro de monitoramento de eventos hidrológicos extremos, integrado à Agência Nacional de Águas. Atualmente, conta com equipe de especialistas contratados para realizarem a previsão hidrometeorológica, com vistas à emissão de boletins e avisos para a Defesa Civil Estadual.

Em função do evento hidrometeorológico extremo ocorrido no dia 5 de janeiro de 2017, que culminou com vários escorregamentos na região do Alto Sinos, junto ao município de São Francisco de Paula, inundações entre os municípios de Rolante e Taquara e interrupção do abastecimento no Baixo Sinos em função da alta turbidez do Rio dos Sinos, foi formado um Grupo de Trabalho (GT) a fim de dar uma resposta técnica à sociedade diagnosticando o ocorrido. O grupo foi formado por pesquisadores do Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e técnicos do Departamento de Recursos Hídricos (DRH) da Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMA) com apoio do Comando Ambiental da Brigada Militar e Defesa Civil dos municípios de Rolante e São Francisco de Paula.

Uma visita técnica inicial foi realizada entre os dias 13 e 14 de janeiro de 2017, resultando neste Diagnóstico Preliminar. Este relatório é decorrente dos três focos principais levantados pelo GT: 1) Caracterização hidrometeorológica do evento; 2) Caracterização dos deslizamentos; 3) Caracterização da inundação.

LIMITAÇÕES DESTE DOCUMENTO:

Ao longo do texto procurou-se destacar os pontos deficientes da análise, que são resultantes de uma base de informações insuficiente em detalhes ou pelas dificuldades de realizar incursões mais incisivas e dedicadas na campanha de campo pelas condições do terreno. Considerando essas limitações, o documento expressa a compreensão do Grupo de Trabalho. As limitações mais decisivas são: Os dados topográficos existentes não permitem a perfeita caracterização do terreno para a utilização de modelos de movimentos de massa que poderiam auxiliar na perfeita determinação dos processos ocorridos e sua gênese;

- Os dados de solo existentes estão em uma escala inadequada e impedem a correta alimentação dos modelos;
- Os pluviômetros existentes não seguem o padrão recomendado pelas normas técnicas;
- Só existem os totais de precipitação acumulados e não a distribuição da precipitação ao longo do tempo. Não há pluviômetros na área de ocorrência dos escorregamentos;
- As imagens de satélite não permitem a identificação de escorregamentos de menor porte, que também são importantes para a compreensão do processo;
- Não existem informações geotécnicas da área de estudo.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

INTRODUÇÃO

A figura 1 apresenta a linha do tempo dos acontecimentos relativos ao evento de deslizamento de encosta e enxurrada registrados respectivamente nos municípios de São Francisco de Paula e Rolante no dia 05 de Janeiro de 2017. A linha do tempo foi dividida, conforme apresentado na legenda, entre eventos relacionados à atuação da Sala de Situação SEMA RS, ações da Defesa Civil e Bombeiros Voluntários de Rolante, e os relatos colhidos durante a visita técnica realizada pela equipe DRH/IPH nos dias 13 e 14 de Janeiro.

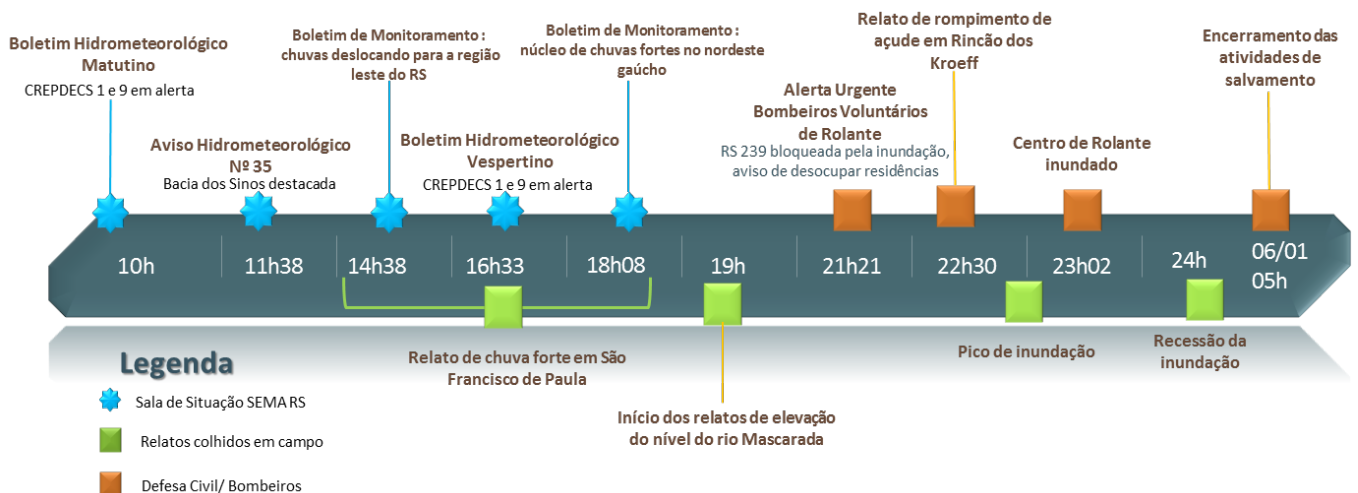


Figura 1 Cronologia do evento. A estrela indica a comunicação oficial do evento pela Sala de Situação; os quadrados superiores, os procedimentos da Defesa Civil; e os quadrados inferiores, os relatos colhidos em campo.

O Boletim Matutino da Sala de Situação do dia 05 de Janeiro classificou as CREPDECS 1 e 9 (Regionais da Defesa Civil referentes aos municípios atingidos pelo evento) como ALERTA. No final da manhã foi emitido o Aviso Hidrometeorológico Nº35-Atualização 2 alertando para a possibilidade de pancadas fortes na região nordeste do estado. Neste aviso, a Bacia Hidrográfica dos Sinos foi destacada como “maior risco”. Ao longo do dia foram enviados ainda dois monitoramentos diretamente para a Defesa Civil, o primeiro as 14h38 e o segundo as 18h08, alertando para o avanço das chuvas.

Em linhas gerais, combinando as três fontes de informação, pode-se concluir que: uma forte chuva atingiu a cabeceira da sub-bacia hidrográfica do Rio Mascarada (figura 2) entre 14 h e 18 h, esta chuva ocasionou a cheia do Rio Mascarada, provocando uma enxurrada que iniciou as 19 h na porção mais à montante da sub-bacia e, posteriormente, afetou o município de Rolante, à jusante, no início da noite, atingindo o pico de cheia por volta das 23 h. O Rio voltou a baixar por volta da meia noite. As atividades de salvamento da Defesa Civil e Bombeiros só cessaram as 5 h da manhã do dia 06, sexta feira.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

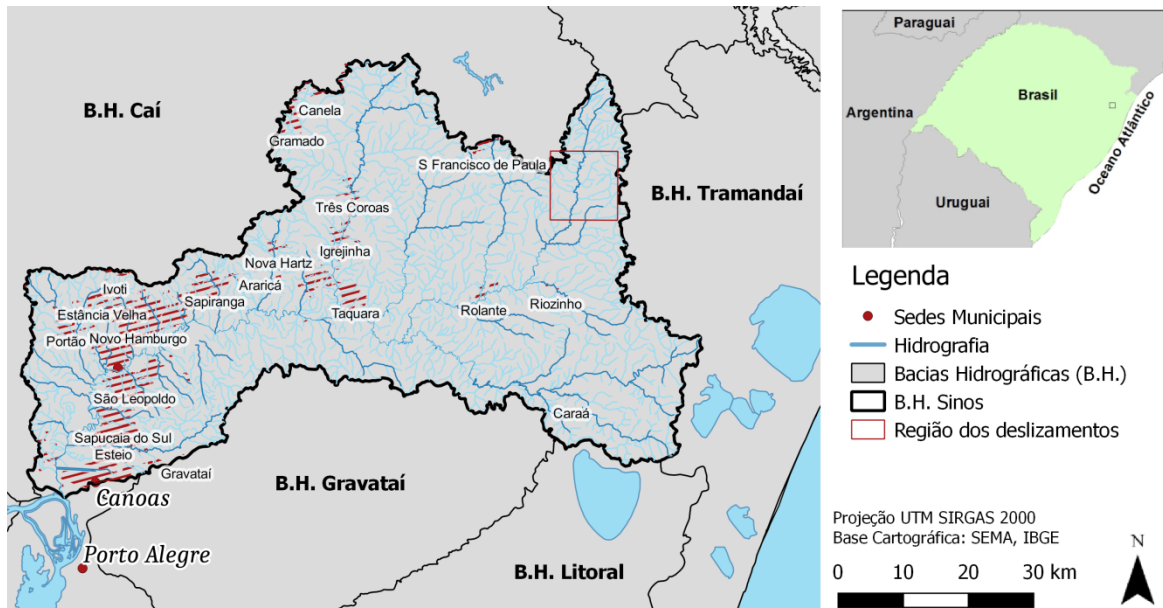


Figura 2. Localização da Bacia do Rio dos Sinos, com destaque para a área dos deslizamentos.

Os relatos do evento por parte dos moradores também auxilia a descartar o rompimento do açude na localidade de Rincão dos Kroeff como uma das causas do evento, conforme inicialmente reportado. A partir da análise da linha do tempo, é possível observar que o rompimento do açude se deu depois de a enxurrada ter atingido o centro de Rolante. Ou seja, a forte enxurrada foi a causa do rompimento do açude e não contrário. Além disso, conforme constatação em campo, o açude representa uma contribuição desprezível de volume de água.

CARACTERIZAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA

- O regime de chuvas no Estado do Rio Grande do Sul é um dos mais volumosos no Brasil e no geral com uma boa distribuição espacial, com uma chuva média em torno de 1600 mm por ano. A orografia tem uma influência direta, caracterizando o aumento do movimento ascensional do ar em alguns locais, que é um dos causadores de chuva. Deste modo, a região com maior ocorrência de precipitação no estado é a parte mais alta da Serra do Nordeste, atingindo valores superiores a 2000 mm anuais.
- As chuvas que ocorrem nas cabeceiras de bacias hidrográficas têm grande influência na determinação das cheias, sendo intensificada pelas condições estruturais do relevo neste caso, que favorecem o rápido escoamento das águas para as áreas a jusante da bacia hidrográfica e resultam na ocorrência de inundações nas porções inferiores de vale.
- Ao longo dos últimos dias de dezembro de 2016 e início de janeiro de 2017 as chuvas foram bastante frequentes no Rio Grande do Sul em virtude da atuação de sistemas de baixa pressão, muito comuns ao longo do Verão. Estes sistemas consistem em baixas pressões que normalmente, nesta época do ano, se formam entre a Argentina e Uruguai, e, em menor



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

escala, frentes frias que se formam mais ao sul do continente. Estes dois sistemas associados podem favorecer chuvas em volumes grandes, curto espaço de tempo e localizadas em pequenas regiões.

- Ao que tudo indica o evento em foco se deu exatamente por ocasião da presença de sistemas de baixa pressão, associados ao relevo da região. As áreas de instabilidade foram alimentadas por umidade e pelo calor entre o período da manhã e da tarde. Este sistema foi ganhando força suficiente para organizar uma massa de ar quente e úmida que ao se deparar com uma barreira (serra) foi forçada a subir ocasionando em condensação (nuvens convectivas), que por sua vez provocam chuvas localmente fortes. As chuvas foram registradas por pluviômetros locais que indicaram volumes variando entre 100 mm e 180 mm em poucas horas, sendo que a média para o mês inteiro de janeiro oscila em torno de 180 mm acumulados.

- Infere-se que no dia da ocorrência dos eventos aconteceram chuvas extremas e bem localizadas na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Rolante (rio Mascarada, também conhecido como Rio Santa Rosa por alguns moradores).

- Considerando a grande variabilidade espacial e a escala a nível estadual das previsões de chuva feitas para o Rio Grande do Sul é de se esperar que pontos com chuva intensa e muito localizada não sejam possíveis de serem visualizados de forma específica pela Sala de Situação. O mapa de isoietas a seguir apresenta o panorama das chuvas acumuladas no Estado para o dia 05/01/2017, dia da ocorrência do evento em Rolante e São Francisco de Paula (figura 3). Neste mapa, pode-se observar a tendência de maiores precipitações na faixa nordeste do RS, condizente com as previsões repassadas pela Sala de Situação à Defesa Civil, colocando a região em estado de alerta. Este mapa foi elaborado somente com os dados oficiais de medição de chuva no Rio Grande do Sul.

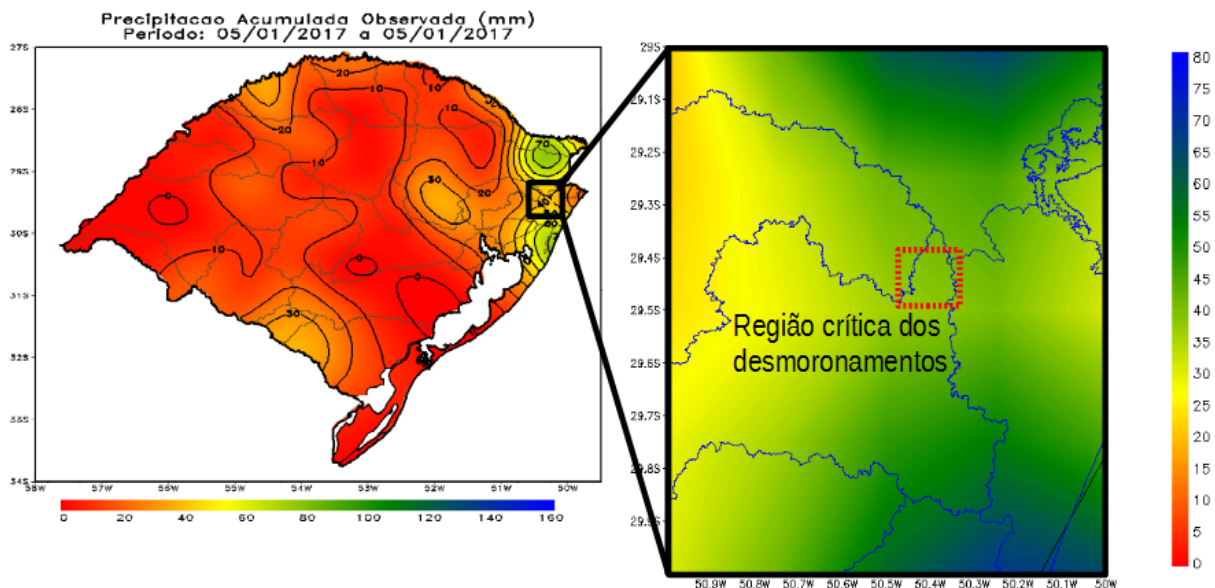


Figura 3. Precipitação média acumulada para o local dos deslizamentos considerando apenas os dados oficiais.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

- Percebe-se a que a média acumulada para o local dos deslizamentos considerando apenas os dados oficiais de medição fica em torno de 50 mm, o que é considerado dentro da normalidade para a região. Acredita-se que este valor está subestimado considerando a magnitude dos eventos que aconteceram na bacia do rio Rolante.
- Além do fator escala, mencionado anteriormente, um fator muito importante para as possíveis subestimativas de chuvas na região é a falta de estações de medição no local onde ocorreram os eventos. Não existem pluviômetros ou pluviógrafos da rede oficial de medição dentro da bacia hidrográfica no local onde aconteceram os deslizamentos. A figura 4 aponta todas as estações automáticas inseridas dentro do banco de dados da rede hidrometeorológica do Estado (pontos verdes), que não englobam a região crítica de deslizamentos.

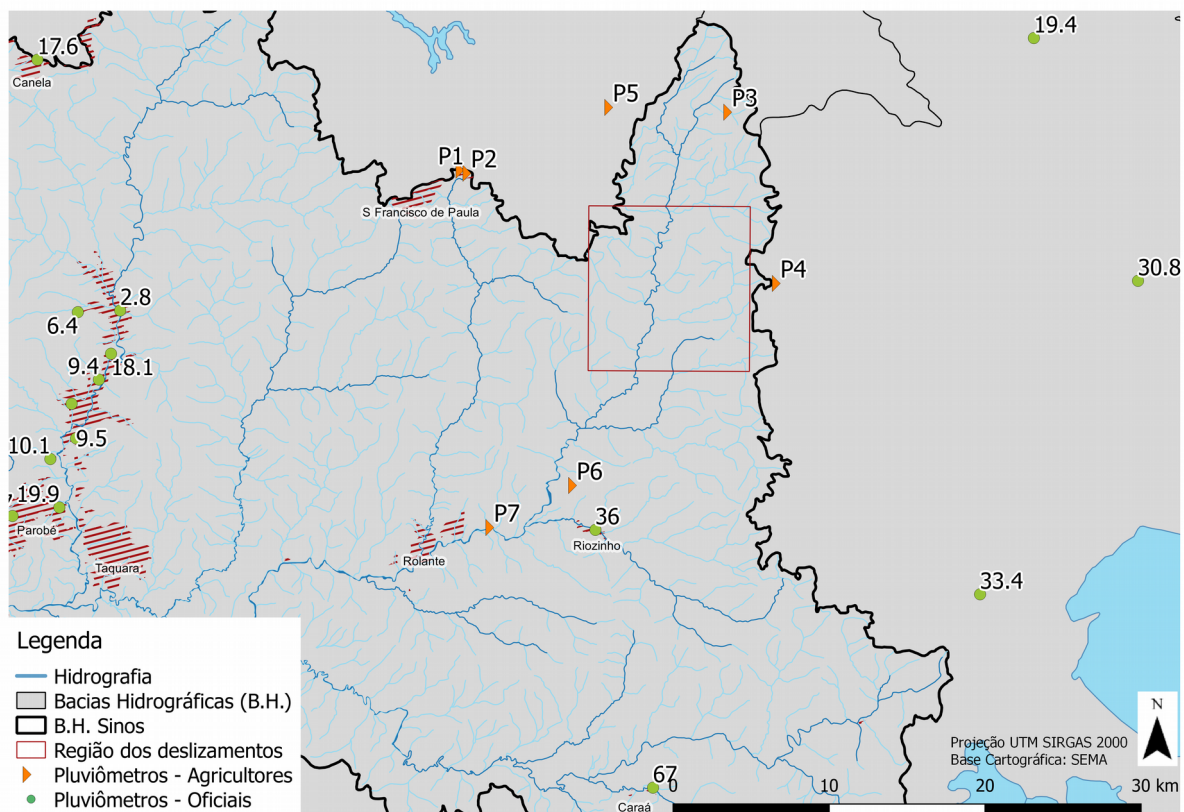


Figura 4. Localização dos dados oficiais de chuva na região (em mm de chuva) e dos pluviômetros visitados dos agricultores. Nota-se que não existem medições oficiais dentro da área onde ocorreram os deslizamentos, destaca pelo quadrado vermelho.

- Visando suprir a falta de informação sobre a real quantidade de chuva na cabeceira do Rio Rolante, que possivelmente deu origem aos movimentos de massa e as cheias que aconteceram na região, foram realizados levantamentos de campo para a obtenção da informação de precipitação acumulada no dia 05/01/2017 (quinta-feira) medida de forma expedita por agricultores na região usando pluviômetros de plástico para a agricultura.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Foram levantados dados e relatos de moradores nos arredores de onde acredita-se que aconteceram os maiores volumes de chuva, muito superiores aos valores registrados nos pluviômetros da rede oficial.

- Foram localizados sete (07) pluviômetros convencionais e coletadas as informações sobre chuva medida no evento do dia 05/01/2017 (tabela 1). As chuvas foram registradas por pluviômetros locais que indicaram volumes variando entre 100 mm e 180 mm em poucas horas, sendo que a média para o mês inteiro de janeiro oscila em torno de 180 mm acumulados. Os dois pluviômetros rurais detectados junto às sedes municipais (P6 e P7) se aproximam das medições oficiais; já os pluviômetros da região da cabeceira do rio Rolante (P1, P2, P3 e P5) mostram dados bem superiores, condizente com os relatos locais de chuva excepcional. O pluviômetro mais próximo à região afetada (P4), e com maior chuva, não pode ser incorporado às análises, em função de a informação ter sido repassada por telefone e também não ter sido confirmada a localização exata e o estado do pluviômetro no local.

Tabela 1 Registros dos pluviômetros existentes na área rural da região. O registro fotográfico dos pontos se encontra no Anexo do presente documento

Ponto	Chuva (mm)	X	Y
P1	110	-29,43	-50,55
P2	180	-29,44	-50,54
P3	130	-29,40	-50,37
P4	272	-29,50	-50,34
P5	100	-29,40	-50,45
P6	90	-29,62	-50,47
P7	96	-29,64	-50,53

- Estas informações recolhidas nos pluviômetros dos agricultores, embora menos precisas, reforçam a hipótese de que nas áreas de cabeceira do rio Rolante, onde aconteceram os escorregamentos e onde possivelmente originou-se a cheia, aconteceu uma chuva muito concentrada de elevado volume.

DESLIZAMENTOS

Caracterização física da região

- Os escorregamentos (também chamados de deslizamentos) ocorridos no dia 05 de janeiro de 2017, que atingiram a região de Rolante, ocorreram nas proximidades dos limites dos municípios de São Francisco do Sul e Riozinho (figura 5). Essa região encontra-se na bacia hidrográfica do rio Mascarada, sub-bacia do rio dos Sinos, no estado do Rio Grande do Sul.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

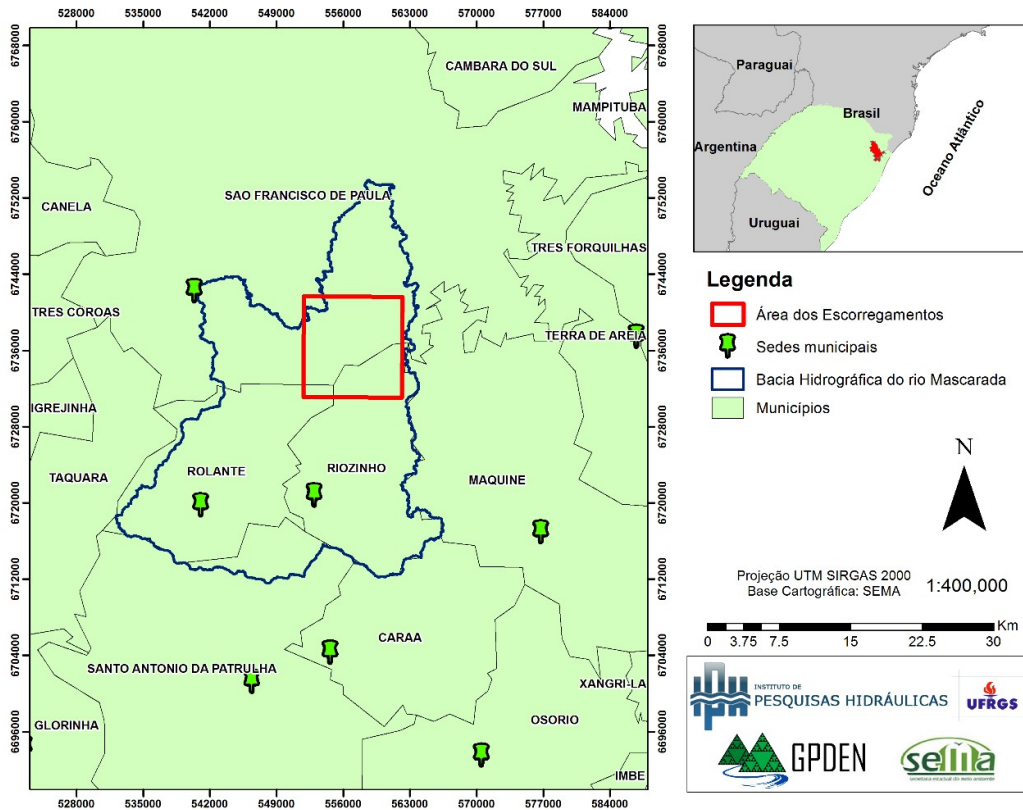


Figura 5. Localização na bacia e nos municípios do local onde ocorrerão os deslizamentos

- O retângulo destacado em vermelho mostra a região onde os escorregamentos ocorreram. Percebe-se que os escorregamentos ocorreram no trecho médio do rio Mascarada, sendo que a parte mais ao norte da bacia não foi afetada por escorregamentos.
- A área de estudo compreende a unidade geomorfológica da Escarpa, ou da Fachada Atlântica Dissecada (Lisboa, 1996) cuja macroforma predominante é do tipo falhada, refletindo o controle estrutural de fraturas e falhas (figura 6). A direção preferencial dos lineamentos nessa região é NW, com alguma contribuição NE (Betiollo, 2006). Essa unidade é caracterizada pela alta declividade e dissecação do relevo destacando-se feições como os cânions Itaimbezinho e Fortaleza.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

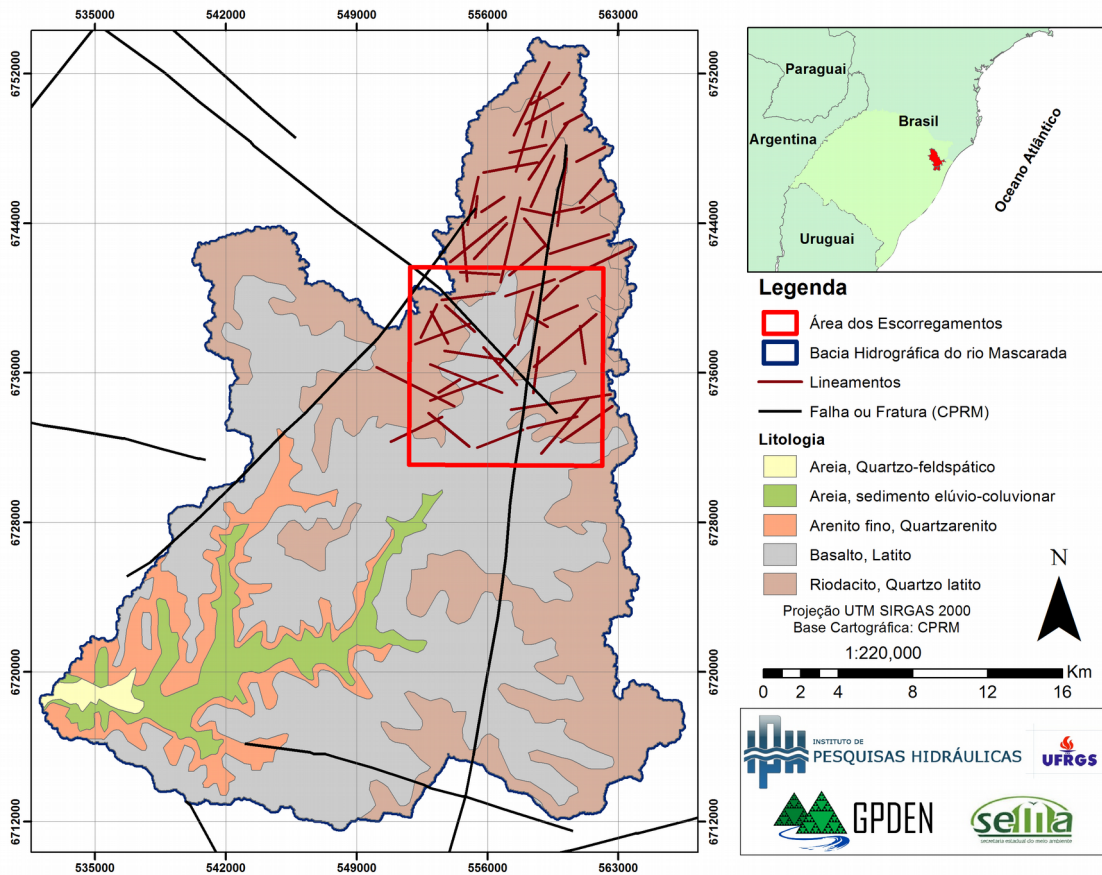


Figura 6. Mapa geológico simplificado com identificação dos principais lineamentos observáveis através de imagens SRTM, dando ênfase à área de estudo.

Fonte: CPRM (2008).

- A alta declividade restringe o uso do solo, que são pouco espessos e dificultam a introdução de culturas agrícolas, em contrapartida, permite uma maior preservação da mata Atlântica (Dantas et al., 2010). Essa unidade possui característica transicional entre o Planalto de Cima da Serra e a Planície Costeira do Rio Grande do Sul e carrega, implicitamente, uma condição de instabilidade geomorfológica, estando suscetível a movimentos de massa, como, fluxo de detritos (Dantas et al., 2010), queda de blocos, entre outros, que são naturais e denotam a evolução do relevo a uma condição de maior estabilidade ao longo do tempo geológico.

- A geologia da área de estudo está inserida dentro do contexto da Bacia do Paraná, uma grande bacia sedimentar com 1.400.000 Km² que recebeu nos estágios finais expressivos derrames vulcânicos de natureza predominantemente básica (basaltos) e subordinadamente ácida (riolitos, dacitos) caracterizados pela Formação Serra Geral, uma Grande Província Ígnea, recobrendo 1.200.000 km² (Betiollo op. cit.) datando em torno dos 130 Ma (milhões de anos) (Reis et al., 2014 apud Renne et al., 1992). Datações radiométricas apontam que a duração do evento vulcânico foi da ordem de um milhão de anos. Regionalmente, os



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

derrames têm uma leve inclinação (menos que 5°) para oeste, em direção ao centro da bacia. A espessura dos derrames varia de poucas dezenas de metros 15 a 20 m no componente basáltico e de 30 a 50m nas unidades ácidas (Betiollo op. cit.).

- O Planalto de Cima da Serra possui forte fraturamento como é possível observar na porção norte da bacia na figura 6 cuja densidade de lineamentos é maior, proporcionando que essa unidade da paisagem sirva de área de recarga para o Sistema Aquífero Serra Geral e demais relacionados. Já a zona de transição caracterizada pela escarpa, também fraturada, sirva como área de descarga desse sistema aquífero e, localmente, pode atuar como recarga para o aquífero não confinado e lençol freático.

- Partindo disso, propõe-se a hipótese de que as fraturas expressas no Planalto são comumente mais profundas que as da Escarpa, de modo que, eventualmente, possa haver conectividade entre elas. Os lineamentos (fraturas e falhas) são planos de fraqueza na rocha e podem ser preenchidos por sedimentos. Essas feições podem ser observadas, por vezes, como estruturas reliquiares presentes nos solos. Considerando o planalto como área de recarga, as fraturas que estiverem, de algum modo, conectadas às da zona escarpada podem conduzir a água para essa unidade e onde houver expressão reliquiar de tais fraturas no solo dessa última, aumentando a poropressão e aliviando a tensão normal do solo, dando condições para o desencadeamento de escorregamentos.

- O tipo de solo predominante na região onde ocorreram os escorregamentos é o Neossolo Litólico, que ocorrem em áreas de relevos mais acidentados e dissecados. Observa-se a presença do Cambissolo húmico nas regiões próximas ao platô da Serra Geral (Figura 5). De acordo com a EMBRAPA os Argissolos Vermelho-Amarelo são solos constituídos por material mineral, com argila de atividade baixa ou alta conjugada com saturação por bases baixa, de profundidade variada alcançando valores de 1 a 2 metros. Ocorre um aumento na plasticidade e pegajosidade do solo em profundidade, devido ao maior teor de argila.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

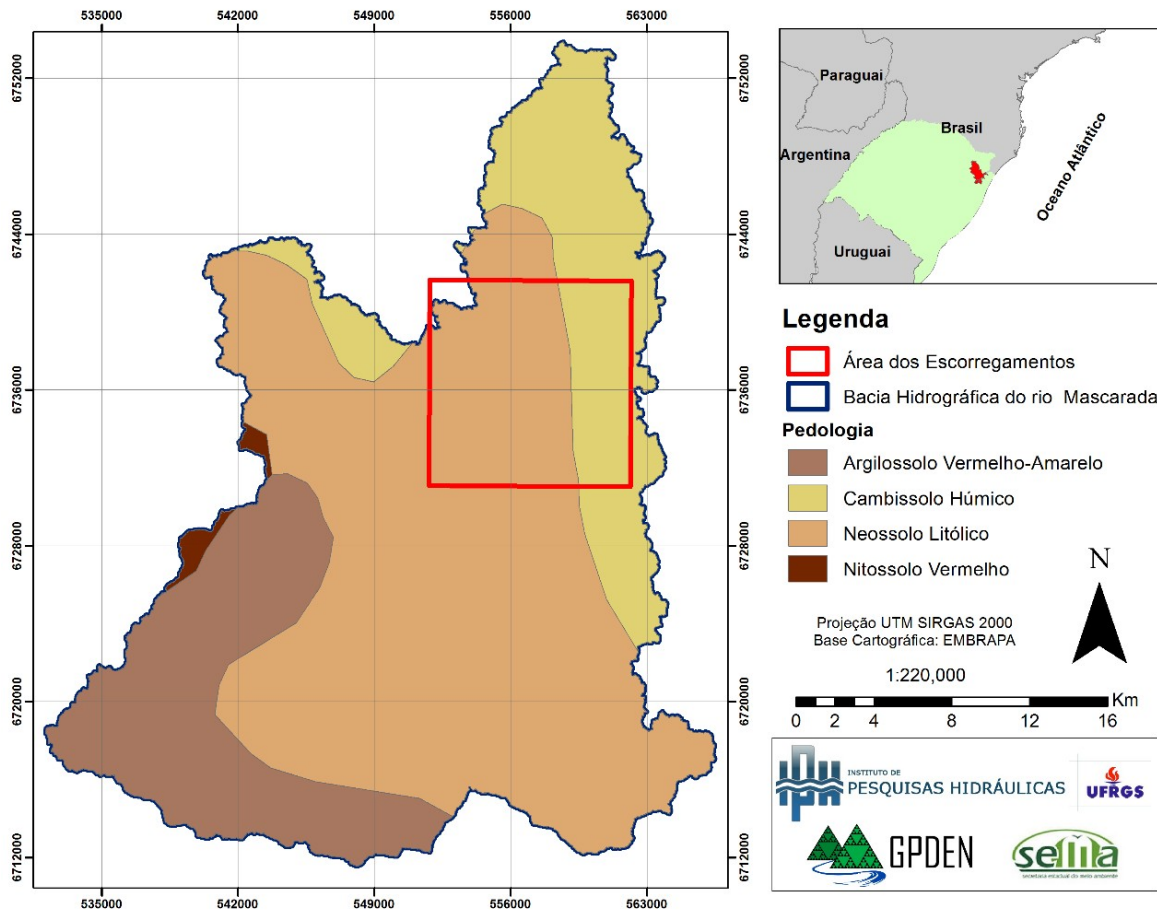


Figura 7. Mapa pedológico da bacia hidrográfica do rio Mascarada

- A região onde ocorreram os escorregamentos apresenta as maiores declividades da bacia, chegando a apresentar inclinações próximas de 70 graus nas encostas, segundo mapa de declividade (Figura 8) elaborado a partir das curvas de nível (1:50.000) elaboradas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército. Estas altas declividades favorecem a mobilidade dos escorregamentos na encosta até alcançarem a calha do rio.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

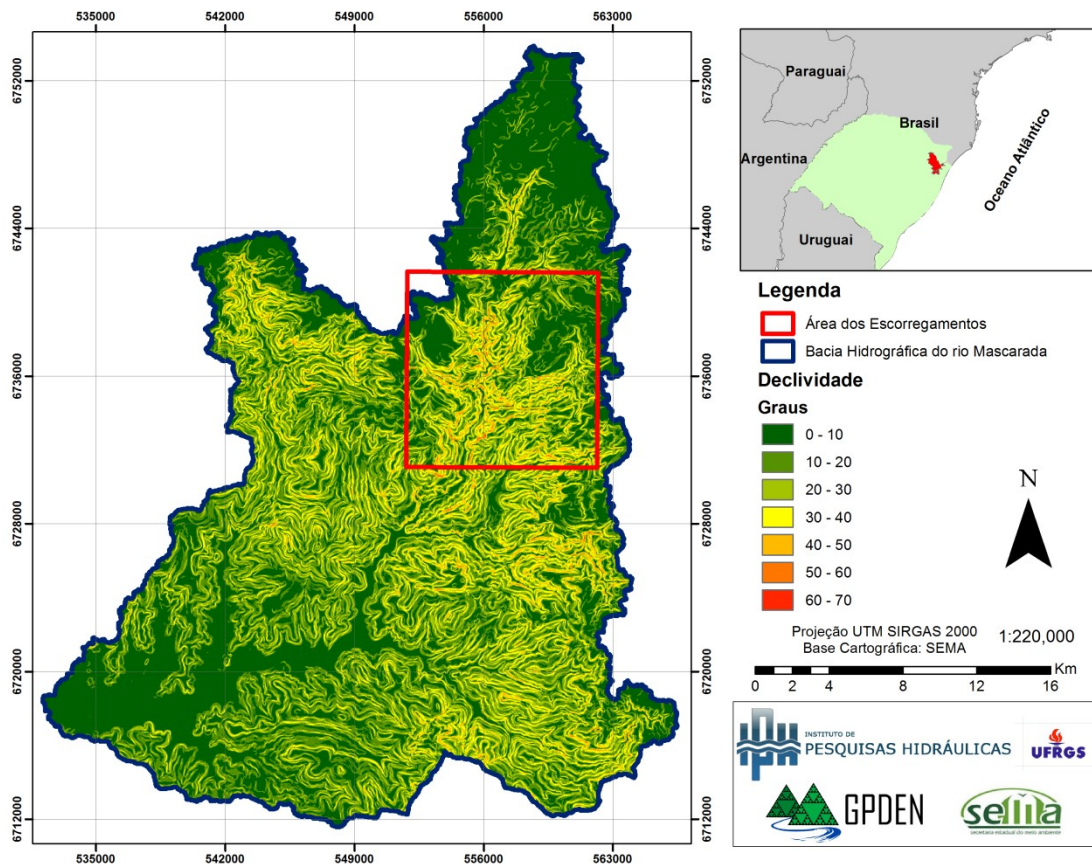


Figura 8. Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Mascarada.

Caracterização dos escorregamentos

- A partir de imagens do satélite Sentinel-2 (European Space Agency- ESA, 2015), datadas de 15 de janeiro de 2017, foi possível observar a dimensão e distribuição espacial dos escorregamentos ocorridos. Destaca-se que esta observação de escorregamentos ainda é de caráter parcial, visto que a imagem obtida por satélite apresenta cobertura parcial por nuvens. A figura 9 mostra a região destacada pelo retângulo vermelho nos mapeamentos anteriores, antes e depois da ocorrência dos escorregamentos.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

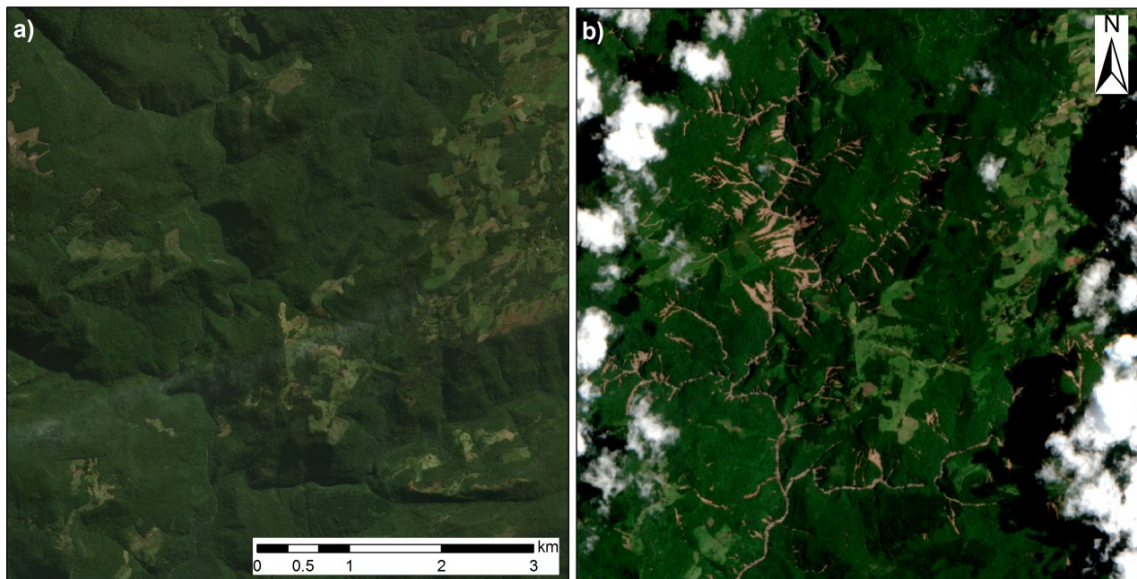


Figura 9. a) Região em data anterior aos escorregamentos (imagem GoogleEarth de 2014) e b) Região em data posterior aos escorregamentos (Sentinel-2)

- A partir da imagem de satélite foi possível elaborar o inventário preliminar de cicatrizes de escorregamentos. Neste inventário foram identificadas preliminarmente aproximadamente 350 cicatrizes de escorregamento, totalizando uma área afetada por escorregamentos de aproximadamente 230 hectares. Na elaboração do inventário, não foi feita distinção entre áreas de ruptura da encosta, áreas de transporte e áreas de deposição dos sedimentos, sendo apenas excluídas as áreas de transporte de sedimento pelo rio. Destaca-se ainda que, embora a imagem de satélite tenha possibilitado a criação do inventário preliminar de escorregamentos, muitos escorregamentos observados em campo apresentaram dimensões menores que a resolução espacial das imagens de satélite, e assim não foram identificados. Além disso, outros escorregamentos de menor parte ocorreram em meio à floresta e não tiveram energia suficiente para derrubar árvores, e assim também não foram identificados pela imagem de satélite. Desta maneira, destaca-se que o número de cicatrizes de escorregamento e a área total afetada pelo fenômeno certamente excede os valores estimados preliminarmente. A estimativa mais apurada do número de cicatrizes e área atingida depende da aquisição de imagens aéreas em resolução compatível com o fenômeno analisado.

- Os escorregamentos ocorridos na bacia do Rio Mascarada foram, em sua grande maioria, do tipo translacional raso. Os escorregamentos translacionais rasos caracterizam-se por exibirem uma superfície de ruptura de geometria plana, também por isso são chamados de escorregamentos planares. Nos escorregamentos translacionais rasos, a profundidade da superfície de ruptura é rasa, geralmente não excedendo 2 metros de profundidade. Além disso, observa-se que, neste tipo de escorregamento, a largura e comprimento dos mesmos excede largamente a dimensão da profundidade.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

- Em alguns pontos, o material desprendido pelos escorregamentos convergiu para o canal, provavelmente possibilitando a formação de fluxos de detritos (também chamados de corridas de massa), conforme figura 10.



Figura 10. Formação de fluxo de detritos na área de convergência do vale.

- O solo que compõe o material desprendido da encosta nos escorregamentos apresenta textura franco-arenosa, segundo avaliação tátil feita pela equipe em campo. Observou-se grande presença de blocos de rocha e matações em meio ao solo desprendido (Figura 11). O material desprendido também apresenta grande quantidade de árvores, visto que a maior parte da área afetada por escorregamentos incidiu sobre regiões florestadas, como pode ser visto na figura 10. Desta maneira, os escorregamentos depositaram no canal uma grande quantidade de material grosseiro, que pode ter influenciado nas condições do fluxo de água.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Figura 11. Perfil de solo da região com blocos distribuídos ao longo da profundidade.

- A profundidade de formação da superfície de ruptura nos escorregamentos visitados e observados varia entre 1 e 2 metros (figura 12). Na maioria dos escorregamentos observados a superfície de ruptura se deu no plano de interface entre a rocha sã e o solo.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Figura 12. Estimativa da profundidade média do solo da região onde ocorreram os escorregamentos.

- Embora a equipe que elaborou o presente diagnóstico tenha tentado modelar a susceptibilidade das encostas à ocorrência de escorregamentos, o procedimento não foi realizado devido à inexistência de levantamentos topográficos em escala adequada para realização do mesmo.

Formação das Barragens

- Devido à rápida subida do nível da água do rio Mascarada na área urbana da cidade de Rolante, levantou-se a hipótese de que escorregamentos teriam barrado o rio e formado uma ou várias barragens naturais. Estas barragens naturais teriam posteriormente rompido e inundado rapidamente a área urbana da cidade de Rolante. Considerando que este fenômeno já foi relatado em literatura (*Valley Blocking Landslide*), a saída de campo buscou indícios de formação destas barragens para confirmação da hipótese.

- A partir da observação das encostas da região durante sobrevôo com helicóptero, um ponto foi selecionado para verificação por terra (figura 13). Este ponto foi selecionado baseado em alguns critérios:

- i. Trata-se de um local onde ocorreram alguns dos escorregamentos de maior dimensão espacial e, por consequência, haveria um grande volume de material disponível para bloquear o vale;



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

- ii. Trata-se de um local onde o rio Mascarada apresenta um caráter meandrante por entre as encostas do vale e, assim, a velocidade do rio tende a ser menor, reduzindo sua capacidade de transporte de sedimentos;
- iii. O ponto está localizado na parte mais a jusante da ocorrência dos escorregamentos, por isso haveria maior volume de material que poderia estar acumulado para formação da barragem.

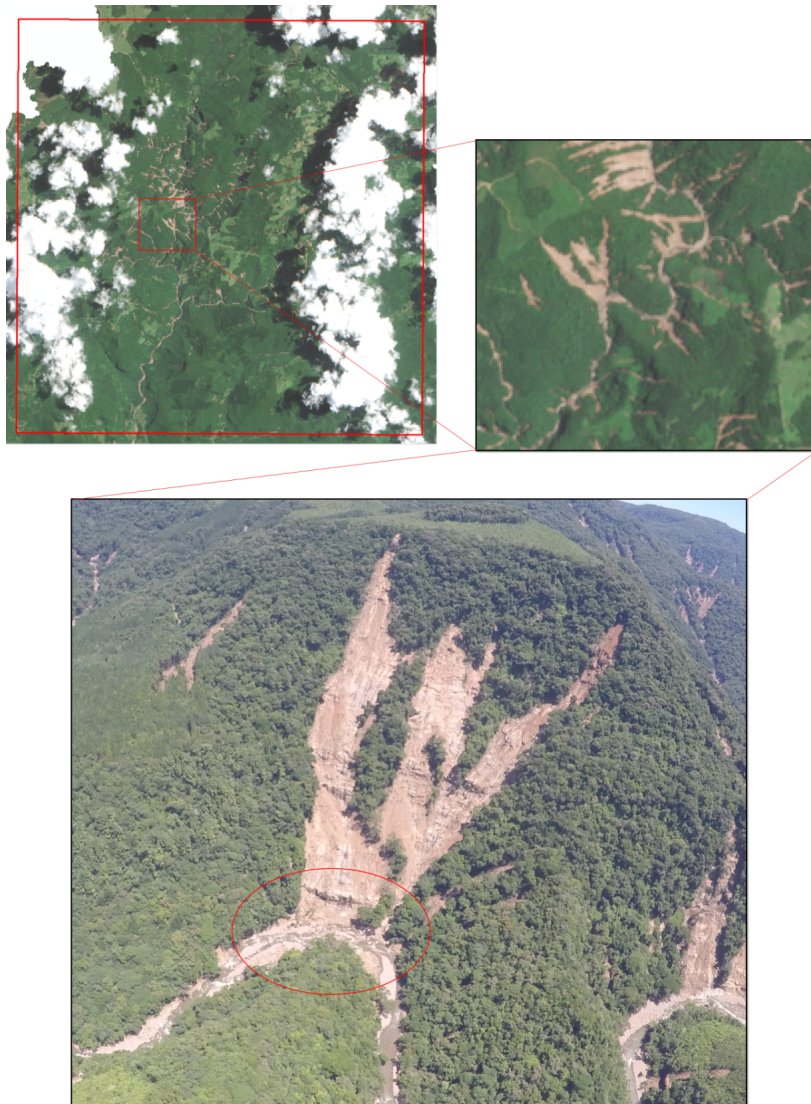


Figura 13. Localização do ponto de visita para verificação de possível formação de barragem.

- A visita ao ponto de interesse foi insuficiente para concluir se houve formação e posterior rompimento de uma barragem natural formada pelos detritos trazidos até o canal pelos escorregamentos. Desta maneira, a hipótese de que a formação e rompimento de uma



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

barragem natural teria causado as inundações na cidade de Rolante não pode ser confirmada e nem refutada com a quantidade de evidências coletadas até o momento.

- Ainda assim, destaca-se que alguns indícios de formação da barragem foram encontrados em campo. No ponto mencionado no texto anteriormente foi observado uma pilha de detritos (figura 14), composta por sedimentos, galhos, troncos, blocos e matacões, que pode ser o resquício de uma barragem natural rompida durante o evento. Este resquício tem uma altura de aproximadamente 2 metros e está situado na parte interna da curva da seção de rio visitada (polígono vermelho). O polígono em azul representa a calha atual do rio. A seção do rio, que anteriormente, por estimativas feitas a partir de imagens de satélite, tinha aproximadamente 20 metros, atualmente exibe uma largura de aproximadamente 50 metros.



Figura 14. Possível local de formação de barragem.

- Outro indício que pode reforçar a hipótese de formação de barragem é o material que compõe a suposta barragem. Este material é de origem coluvionar, visto que os blocos se encontram angulados e não arredondados. Além disso, inexistente a formação de imbricação no material, enfraquecendo a hipótese de que o material seja de origem aluvial. Por fim, percebe-se que este resquício é uma formação significativamente diferente do material disposto nas margens do rio, que pode ser visto à direita do polígono vermelho na imagem. Todos estes indícios reforçam a hipótese de formação de barragem. Entretanto ressalta-se que a suposta barragem na figura 14 representa apenas uma hipótese que ainda não pode ser totalmente confirmada.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

CARACTERIZAÇÃO DA INUNDAÇÃO

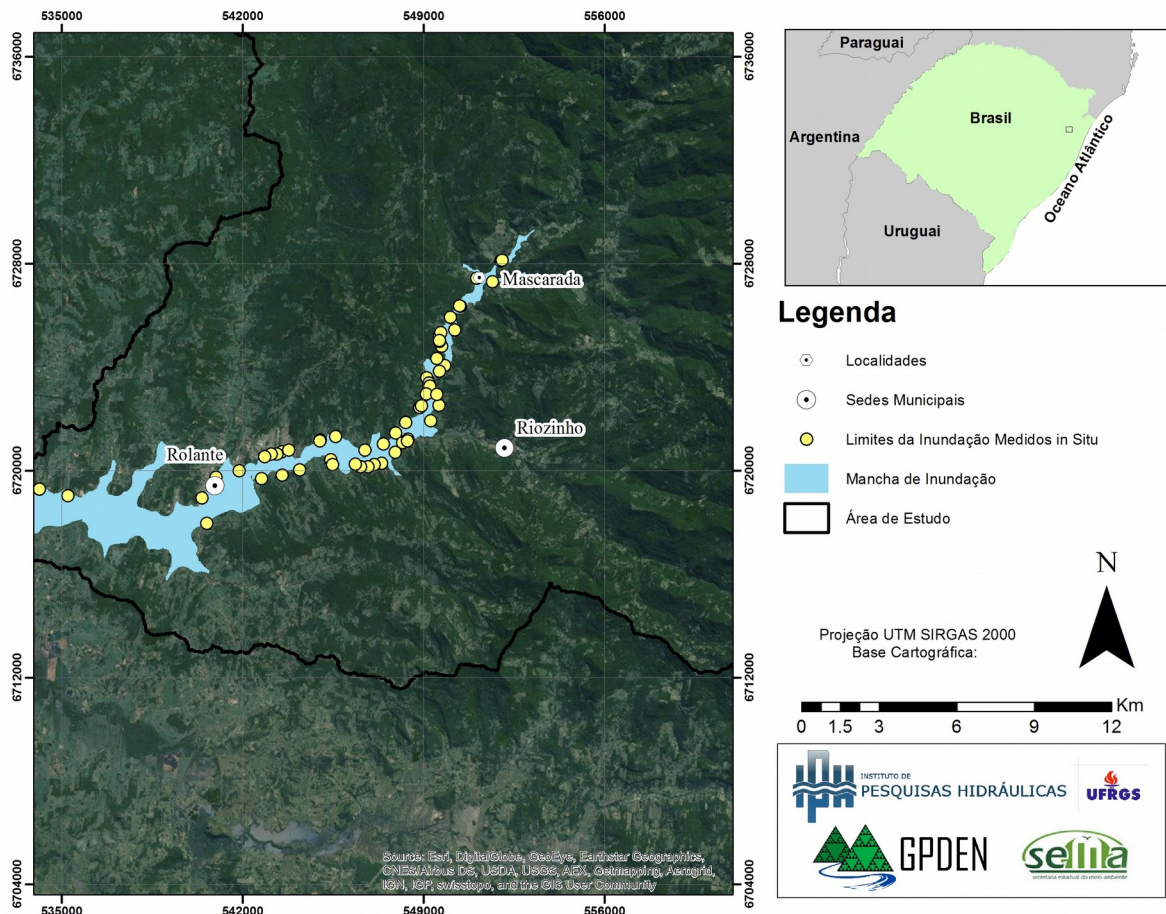
- Os principais indícios levantados na etapa de análise hidrometeorológica apontam para o fato de um evento extremo de chuva ter acontecido exatamente na região de cabeceira da bacia hidrográfica do rio Mascarada. O evento extremo de chuva nesta região, que possui um solo com pouca capacidade de retenção de água e elevadas declividades, resultou na geração de muito escoamento superficial de água.
- Apesar de não estarem completamente claras ainda as possibilidades de formação de barragens no leito do rio pelos sedimentos oriundos dos escorregamentos, e o quanto isso contribuiu para a forma da cheia, é certo que o grande volume de escoamento superficial de água na bacia hidrográfica a montante da cidade de Rolante resultou em uma grande cheia no rio Mascarada.
- O município de Rolante localiza-se ao fim da bacia de contribuição do rio Mascarada, em uma região relativamente plana quando comparada ao restante da área. Assim, esta quebra de declividades, que pode ser percebida na figura 8, contribui para que as águas atinjam maiores áreas na região.
- A cheia do rio Mascarada atingiu uma vasta área na cidade de Rolante, que se desenvolve às margens do corpo hídrico. Foram atingidas outras áreas que não são inundadas de forma recorrente na cidade de Rolante, segundo os moradores, justamente por tratar-se de um evento extremo de cheia com características singulares na sua origem.
- Como não existem dados de monitoramento hidrológico na região atingida, é impossível calcular o tempo de recorrência do evento. Destaca-se aqui a importância da implantação futura de monitoramento hidrológico para a gestão de riscos de desastres nesta região e em outras regiões com características similares no Rio Grande do Sul.
- A hipótese de rompimento do açude pequeno da moradora na bacia do rio Mascarada, no distrito Rincão dos Kroeff, como sendo a causadora da onda de cheia em Rolante, é refutada. Provavelmente a influência deste rompimento foi desprezível em relação à magnitude da cheia que atingiu Rolante. Os indícios que permitem que a hipótese do rompimento como causadora de cheia na cidade seja refutada são:
 - i. O volume do açude que rompeu foi verificado em campo (vista aérea e visita *in loco*) como pequeno para seu rompimento resultar na formação de uma grande onda de cheia capaz de causar os danos verificados;
 - ii. Os sinais de destruição no rio Mascarada são observados apenas a jusante da zona de escorregamentos, evidenciando que entre o local do açude (cabeceira da bacia) e a zona onde estão os escorregamentos (trecho médio da bacia) os efeitos da inundação foram menores;
 - iii. O rompimento do açude foi relatado por moradores como acontecido às 23h da quinta-feira, dia do evento. E nesta hora a chegada da onda de cheia e os seus danos já estavam sendo verificados em Rolante.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Constatou-se que no local existem dois açudes: um maior a montante e o menor, que rompeu, conforme relato do filho da proprietária e de outros moradores próximos, em função do transbordamento do maior, por volta das 23 h do dia do evento.

- A delimitação da área atingida pela onda de cheia na cidade de Rolante e seus entornos foi realizada de forma preliminar, objetivando um diagnóstico rápido, através de: (i) levantamento de informações em campo relativas à abrangência de cheias com base em relatos dos moradores, marcas de cheia nas casas, marcas de cheia na vegetação, e marcação da localização usando um GPS; (ii) aplicação do descritor do terreno HAND considerando a drenagem do rio Mascarada e as curvas de nível em escala 1:50.000 fornecidas pela SEMA. A área alagada a partir do método HAND foi classificada considerando os pontos levantados em campo com GPS Montana 680 como seus limites, resultando no mapa preliminar de áreas alagadas apresentado na figura 15a e 15b.





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

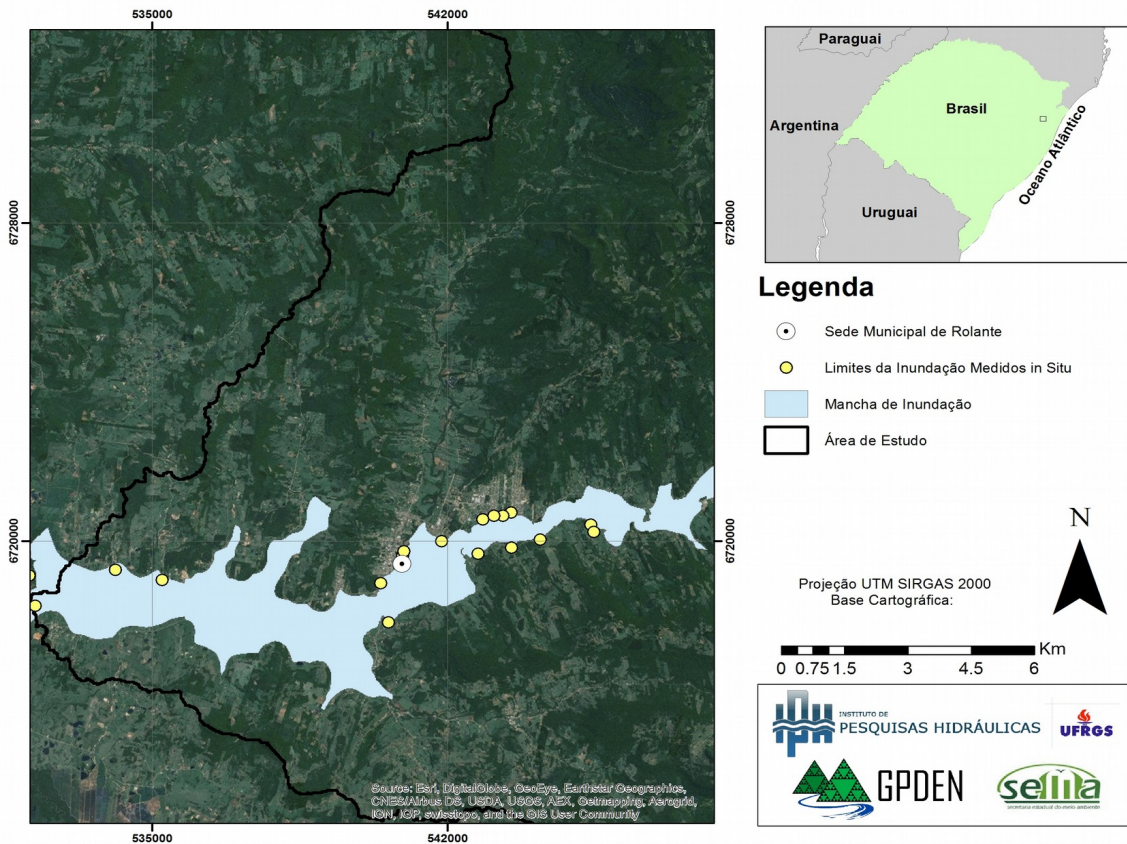


Figura 15b. Detalhe para a área urbana de Rolante.

- A cheia criada possuía muita competência e capacidade de transporte de sedimentos e material grosseiro. Assim, ela deslocou grandes volumes de sedimentos ao longo do seu trajeto. A principal fonte dos sedimentos foram os escorregamentos ocorridos nas áreas onde ocorreram as chuvas. Porções destes sedimentos se depositaram nas áreas planas onde a inundação atingiu, incluindo a cidade de Rolante. O odor característico sentido pelos moradores é resultante da decomposição anaeróbia da matéria orgânica carregada e depositada junto aos sedimentos na cidade.

- Os processos de transporte e deposição dos sedimentos ao longo do leito do rio Mascarada alteraram as suas características geomorfológicas. A figura 16 apresenta uma imagem aérea do rio antes e depois do evento. A partir da data do evento de cheia pode-se esperar um comportamento do rio Mascarada diferente do que os moradores estão acostumados, por exemplo, em relação aos níveis de água e áreas alagadas nas proximidades do rio.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

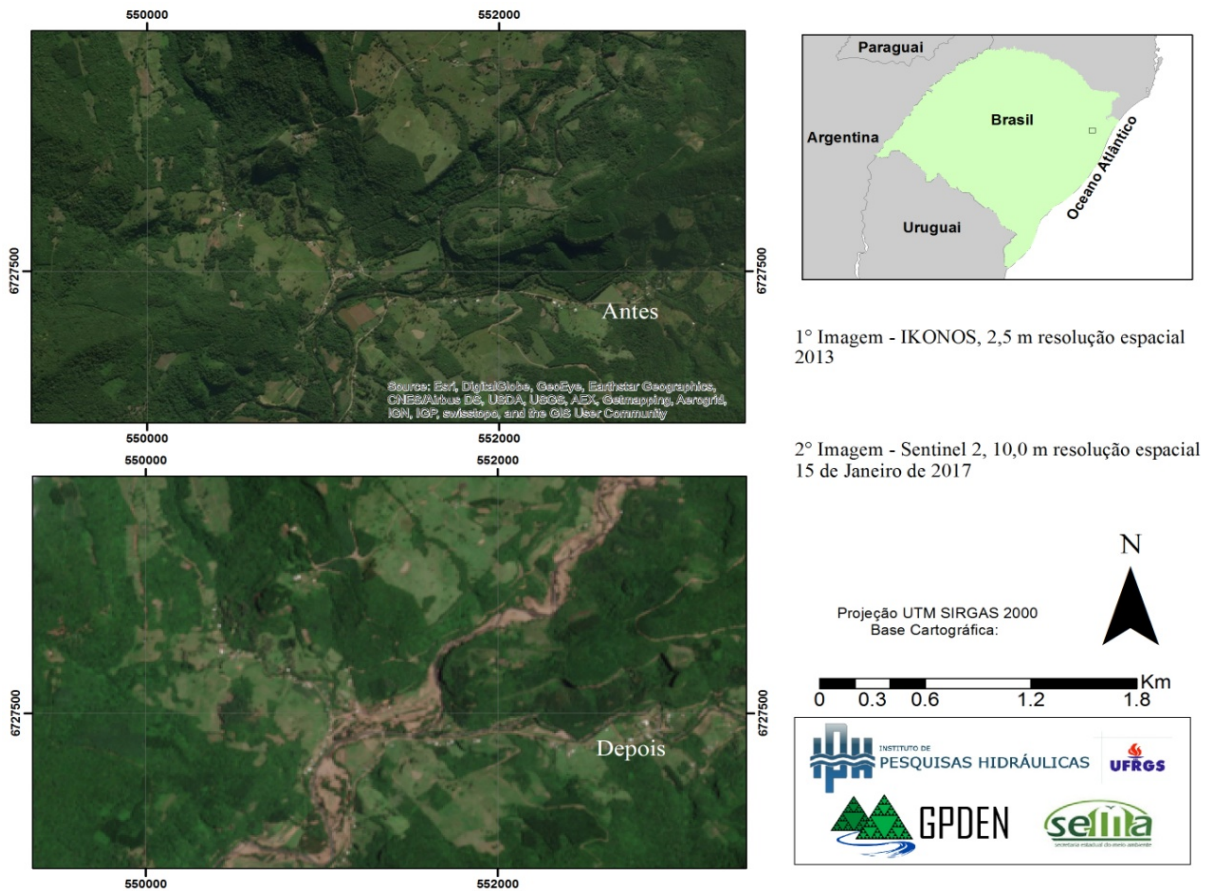


Figura 16. Modificação do Leito do Rio Mascarada antes do evento e depois do evento.

- Em função dos sedimentos ainda depositados nas margens e leito do rio após o evento, e de possíveis escorregamentos que ainda venham a acontecer nas áreas de encosta que restaram susceptíveis após os eventos, é possível que novos eventos de turbidez elevada aconteçam no Rio Mascarada e Rio dos Sinos. Neste sentido, é importante que as companhias de saneamento que usam água destes rios estejam aptas a monitorar a qualidade de água nas suas captações, acompanhando eventos meteorológicos extremos.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

ANEXOS

REGISTROS FOTOGRÁFICOS DO EVENTO



Foto1 – A enxurrada que atingiu a localidade de Rolante veio com muita lama e detritos.
Fonte: Defesa Civil RS



Foto 2 – Estradas foram interrompidas e a vegetação foi arrastada pela água.
Fonte: Defesa Civil RS



Foto 3 – Área inundada do município de Rolante registrada pelo sobrevoo realizado no dia 06/01 pela Defesa Civil.
Fonte: Defesa Civil RS



Foto 4 – Região do Baixo Rio Sinos conforme registro do sobrevoo realizado no dia 13/01 pelo GT.
Fonte: DRH/GPDEN



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Foto 5 - Início das evidências de deslizamentos conforme registro do sobrevoo realizado no dia 13/01 pelo GT.

Fonte: DRH/GPDEN



Foto 6 – Vista aérea da região de confluência do rio Rolante e arroio Jandira conforme registro do sobrevoo realizado no dia 13/01 pelo GT.

Fonte: DRH/GPDEN



Foto 7 – Região onde foram indentificados os maiores deslizamentos conforme registro do sobrevoo realizado no dia 13/01 pelo GT.

Fonte: DRH/GPDEN



Foto 8 – Vista aérea da Cascata do Sumidouro conforme registro do sobrevoo realizado no dia 13/01 pelo GT.

Fonte: DRH/GPDEN



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



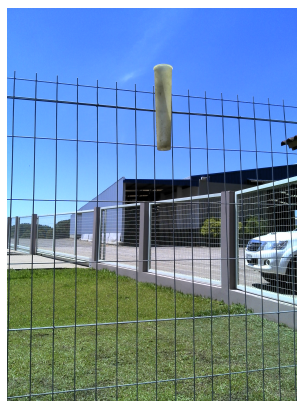
Foto 09- Registro fotográfico do pequeno açude rompido no dia 05/01 na região de São Francisco de Paula.
Fonte: DRH/GPDEN

**REGISTROS FOTOGRÁFICOS DOS PLUVIÔMETROS DOS AGRICULTORES
CONORME TABELA 1**

P1



P2





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

P3



P5



P6



P7

