



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

[sid.inpe.br/mtc-m21d/2024/06.27.14.21-NTC](http://sid.inpe.br/mtc-m21d/2024/06.27.14.21-NTC)

## **METODOLOGIA DA PRODUÇÃO DO MAPA DE INUNDAÇÕES E MOVIMENTOS DE MASSA DO DESASTRE DO RS EM MAIO DE 2024**

AUTORES INPE:

Laércio Massaru Namikawa

Karine Reis Ferreira

Thales Sehn Körting

Gilberto Ribeiro de Queiroz

Helena Krieg Boscolo

Alexandre Junqueira Homem de Mello

Marisa da Motta

Emiliano Ferreira Castejon

Gilvan Sampaio

Javier Tomasella

Cassiano Gustavo Messias

Luciana Soler

Carla Mourão

Mayara Teodoro

Marlon Henrique Hetzel Matos

Janaina Sant'Ana Maia

Thayse Azevedo Moreira

Mauricio Braga Tranco

Raquel Zózimo Molinez

Rafael Andrade Aluvei

Murilo Brasil da Silva

Deise da Silva Alves Santana

Douglas Rafael Vidal de Moraes

Vivian Froes Renó

Eduardo Henrique Sanches Chrispim

Felipe de Oliveira Passos

Greice Vieira Silveira  
Vagner Camilotti  
AUTORES CEMADEN:  
Luz Adriana Cuartas Pineda  
Larissa Antunes da Silva  
Demerval Aparecido Gonçalves  
Harideva Maturano Egas  
Rodrigo Augusto Stabile  
Tulius Dias Nery  
Márcio Roberto Magalhães de Andrade  
Danielle Silva de Paula  
Tatiana Sussel Gonçalves Mendes  
Elisabete Weber Reckziegel  
João Paulo de Carvalho Araújo

#### INSTITUIÇÕES ENVOLVIDAS

INPE - Instituto Nacional de  
Pesquisas Espaciais

CEMADEN - Centro Nacional  
de Monitoramento e Alertas de  
Desastres Naturais

UFRGS - Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul

Exército Brasileiro

Estado do Rio Grande do Sul

ANA - Agência Nacional de Águas  
e Saneamento Básico

SGB - Serviço Geológico do Brasil

FAB - Força Aérea Brasileira

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/4BHHNCB>>

INPE

São José dos Campos

2024

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)  
Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
CEP 12.227-010  
São José dos Campos - SP - Brasil  
Tel.:(012) 3208-6923/7348  
E-mail: pubtc@inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**

**Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

**Membros:**

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)  
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)  
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)  
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon  
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

# Metodologia da Produção do Mapa de Inundações e Movimentos de Massa do Desastre do RS em Maio de 2024

## **Autores**

**INPE:** Laércio Massaru Namikawa, Karine Reis Ferreira, Thales Sehn Körting , Gilberto Ribeiro de Queiroz, Helena Krieg Boscolo, Alexandre Junqueira Homem de Mello, Marisa da Motta, Emiliano Ferreira Castejon, Gilvan Sampaio, Javier Tomasella, Cassiano Gustavo Messias, Luciana Soler, Carla Mourão, Mayara Teodoro, Marlon Henrique Hetzel Matos, Janaina Sant'Ana Maia, Thayse Azevedo Moreira, Mauricio Braga Trancho, Raquel Zózimo Molinez, Rafael Andrade Aluvei, Murilo Brasil da Silva, Deise da Silva Alves Santana, Douglas Rafael Vidal de Moraes, Vivian Froes Renó, Eduardo Henrique Sanches Chrispim, Felipe de Oliveira Passos, Greice Vieira Silveira, Vagner Camilotti.

**CEMADEN:** Luz Adriana Cuartas Pineda, Larissa Antunes da Silva, Demerval Aparecido Gonçalves, Harideva Maturano Egas, Rodrigo Augusto Stabile, Tullius Dias Nery, Márcio Roberto Magalhães de Andrade, Danielle Silva de Paula, Tatiana Sussel Gonçalves Mendes, Elisabete Weber Reckziegel, João Paulo de Carvalho Araújo.

## **Instituições envolvidas**

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Exército Brasileiro

Estado do Rio Grande do Sul

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

SGB - Serviço Geológico do Brasil

FAB - Força Aérea Brasileira

**Junho de 2024**

# Índice

<a href="#">1. Introdução.....</a>	<a href="#">2</a>
<a href="#">2. Etapa 1: Versão 1.0 do Mapa - Dados do 1ºCGEO/DSG/Exército e IPH/UFRGS.....</a>	<a href="#">2</a>
<a href="#">3. Etapa 2: Versão 2.0 do Mapa – União do Mapa Versão 1.0 com a Mancha do Estado do Rio Grande do Sul e Dados do CEMADEN.....</a>	<a href="#">5</a>
<a href="#">4. Etapa 3: Refinamento nas Bordas da Versão 2.0 pelo INPE.....</a>	<a href="#">8</a>
<a href="#">5. Etapa 4: Inundações por Modelagem Computacional em Municípios Fora da Versão 2.0 do Mapa e Mapeamento de Deslizamentos pelo CEMADEN.....</a>	<a href="#">12</a>
<a href="#">Inundações por Modelagem Computacional em Municípios Fora da Versão 2.0 do Mapa..</a>	<a href="#">12</a>
<a href="#">Mapeamento das Feições Relacionadas aos Movimentos Gravitacionais de Massa (Deslizamentos).....</a>	<a href="#">13</a>
<a href="#">6. Etapa 5: Versão 3.0 do Mapa.....</a>	<a href="#">14</a>
<a href="#">ANEXOS.....</a>	<a href="#">15</a>
<a href="#">Anexo - Cronograma de Entregas.....</a>	<a href="#">16</a>
<a href="#">Anexo - Mancha de Inundação da UFRGS.....</a>	<a href="#">17</a>
<a href="#">Anexo - Mancha de Inundação do Exército Brasileiro.....</a>	<a href="#">19</a>
<a href="#">Anexo - Lista de Municípios.....</a>	<a href="#">20</a>
<a href="#">Anexo - Mancha de Inundação e Deslizamentos do Estado do Rio Grande do Sul.....</a>	<a href="#">22</a>
<a href="#">Anexo - Metodologia do CEMADEN para o Mapeamento da Inundação.....</a>	<a href="#">24</a>
<a href="#">Anexo - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.....</a>	<a href="#">28</a>
<a href="#">Anexo - Mapeamento das Feições de Movimentos de Massa - CEMADEN.....</a>	<a href="#">31</a>

## 1. Introdução

O objetivo desse documento é descrever a metodologia usada para produzir o Mapa de Inundações e Movimentos de Massa do Desastre do Rio Grande do Sul a partir dos dados produzidos pelo INPE, CEMADEN, UFRGS, Exército Brasileiro e Estado do Rio Grande do Sul, utilizando imagens de satélites do INPE e FAB, modelos computacionais do CEMADEN e ANA e observações de campo do SGB. Esse mapa tem o objetivo de identificar as áreas atingidas por inundações e movimentos de massa (deslizamentos) e está sendo usado pelo Governo Federal para fazer o pagamento do Auxílio Reconstrução para as famílias afetadas. As Versões dos Mapas foram entregues para proceder os pagamentos nas datas apresentadas no [Anexo - Cronograma de Entregas](#). A metodologia consiste em 5 etapas, como mostrado na Figura 1, descritas a seguir.

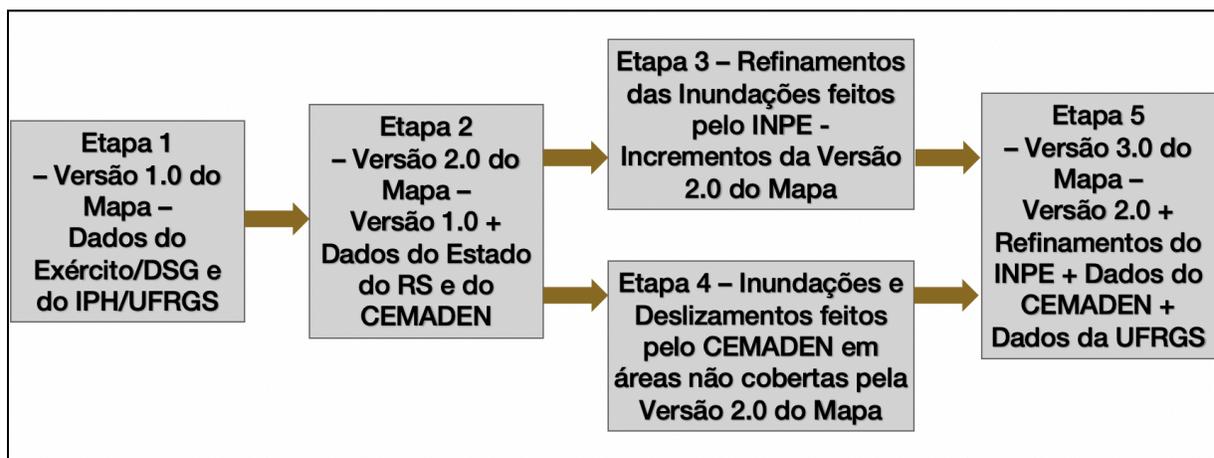


Figura 1 – Metodologia e suas etapas.

## 2. Etapa 1: Versão 1.0 do Mapa - Dados do 1ºCGEO/DSG/Exército e IPH/UFRGS

No dia 23/05/2024, foi realizada uma reunião virtual com a participação de várias instituições federais que apresentaram e discutiram suas atividades e dados relacionados ao mapeamento de manchas de inundações do desastre do do Rio Grande do Sul. Nessa reunião, devido às necessidades imediatas, ficou decidido que iríamos começar a geração do mapa utilizando as áreas já mapeadas pela 1º Centro de Geoinformação (1ºCGEO) do Serviço Geográfico do Exército (DSG) e pelo Instituto de Pesquisa Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

O IPH gerou a mancha de inundação integrando informações, durante ou próximo do pico da inundação, de imagens ópticas de sensoriamento remoto com modelos digitais de terreno e pontos coletados em campo. As áreas inundadas mapeadas pelo IPH estão apresentadas na Figura 2 e as informações detalhadas sobre a metodologia estão descritas no [Anexo - Mancha de Inundação da UFRGS](#).

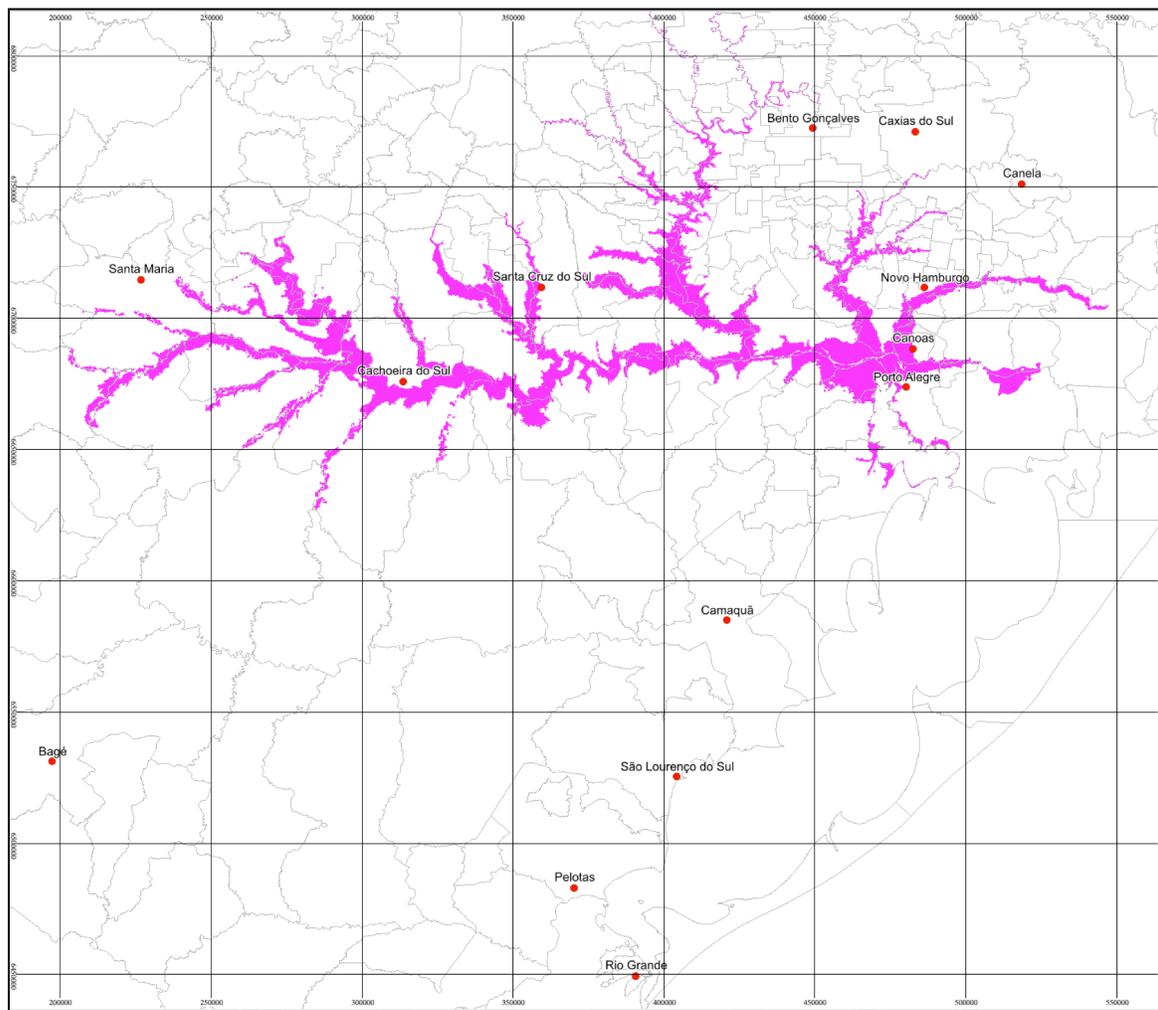


Figura 2 – Áreas inundadas mapeadas pelo IPH/UFRGS. (Projeção UTM22S/SIRGAS2000)

O Exército Brasileiro através do 1º Centro de Geoinformação (1ºCGEO) do Serviço Geográfico do Exército (DSG) mapeou as áreas inundadas com o objetivo de viabilizar a resposta imediata ao desastre. Devido a este objetivo, foram utilizadas várias fontes de informação, com modelagem computacional, imagens de satélite e dados de campos. O [Anexo - Mancha de Inundação Exército Brasileiro](#) detalha o mapeamento e a Figura 3 mostra as áreas inundadas mapeadas pelo Exército Brasileiro.

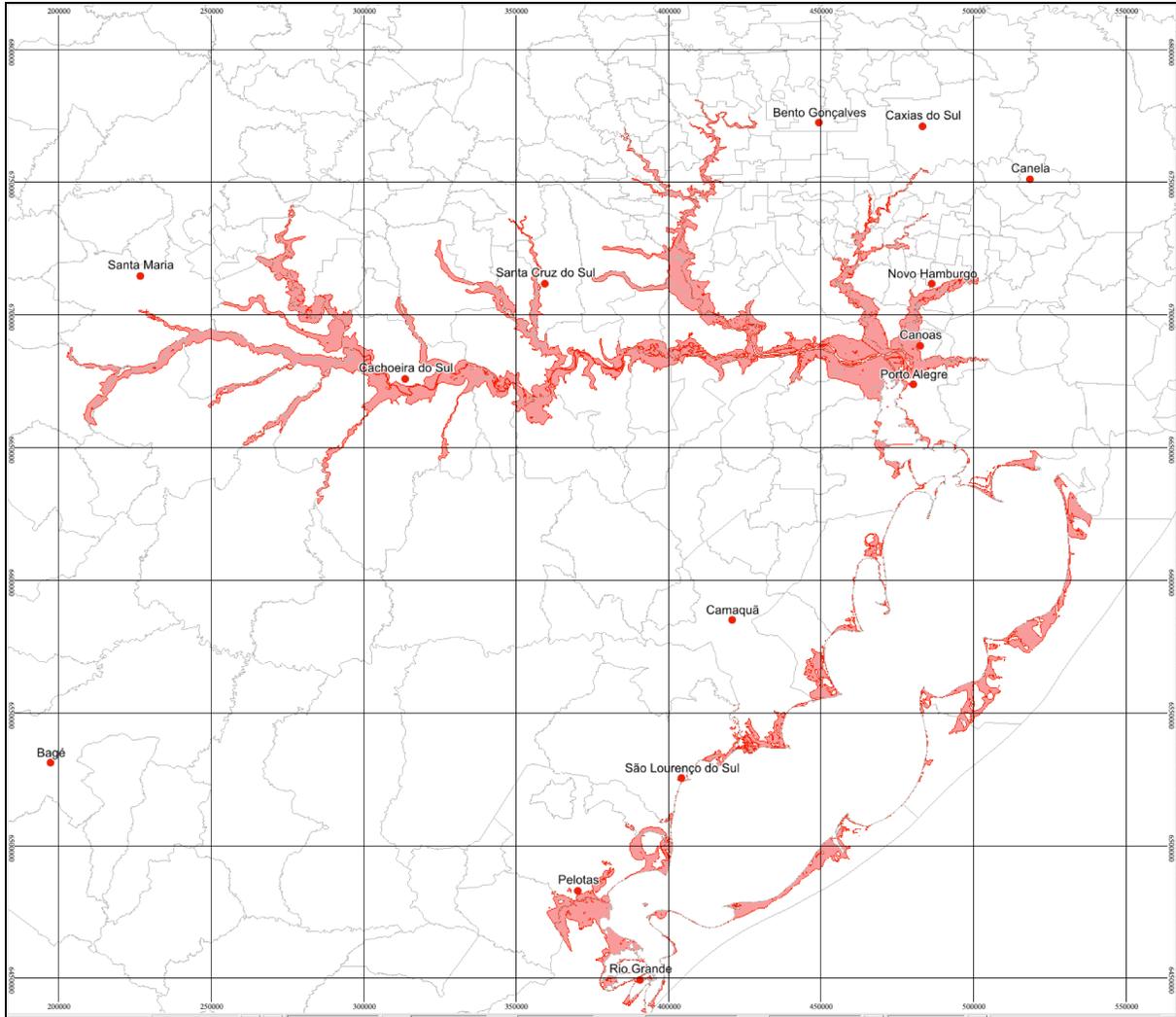


Figura 3 – Áreas inundadas mapeadas pela DSG/Exército Brasileiro. (Projeção UTM22S/SIRGAS2000)

A primeira versão do Mapa de Inundação e Movimentos de Massa do Desastre do Rio Grande do Sul foi gerada no dia 24/05/2024 com a união dos mapas produzidos pelo IPH e pela DSG, e enviada para a DataPrev no dia 25/05/2024 para que os pagamentos começassem a serem pagos com essa primeira versão. A Figura 4 apresenta esta versão, denominada Versão 1.0, onde a mancha de inundação é apresentada em azul claro e, em cor laranja, os 134 Municípios afetados por esta mancha. O [Anexo - Lista de Municípios](#) contém a Tabela 1 com esses 134 municípios.

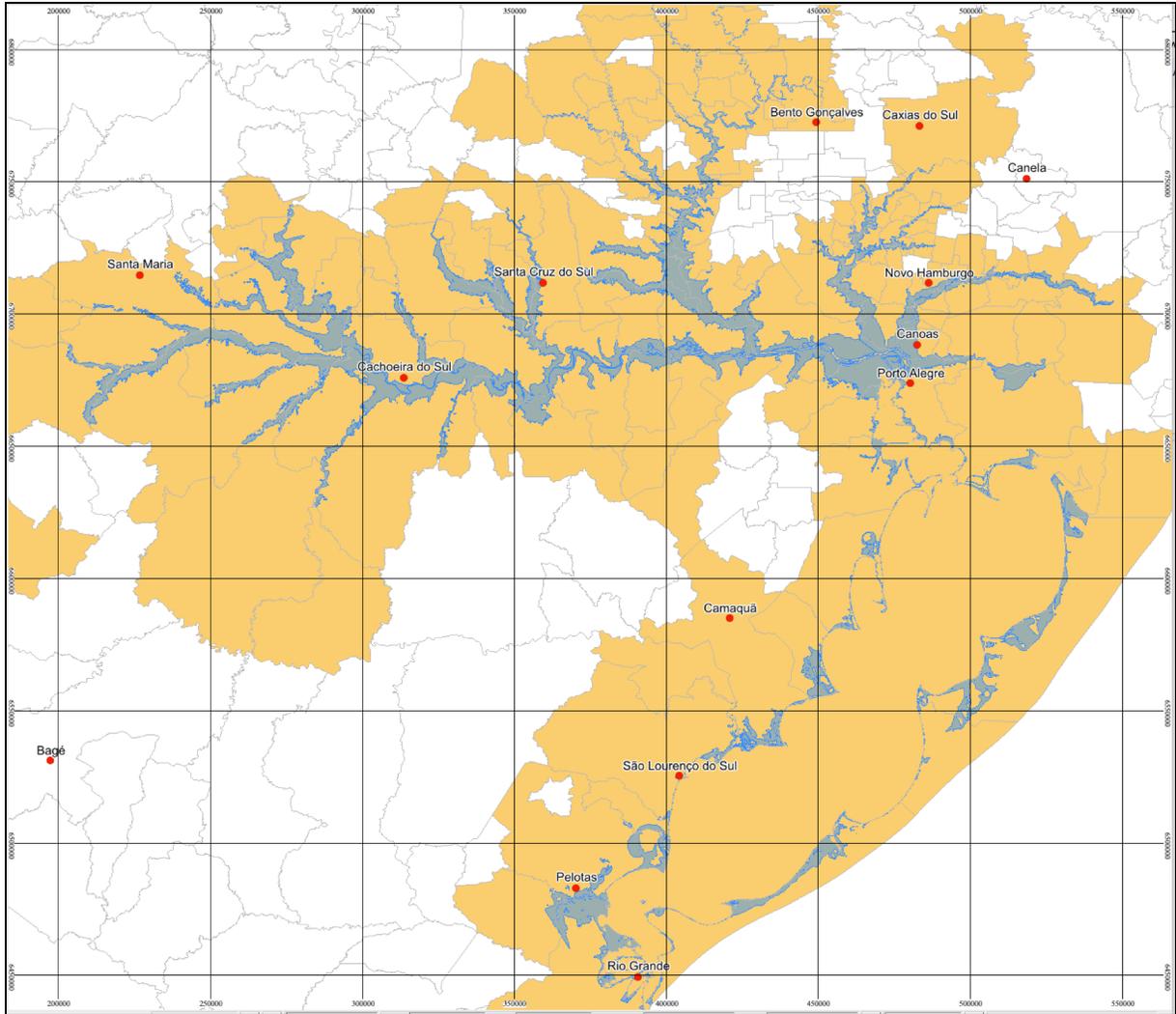


Figura 4 – Versão 1.0 do Mapa de Inundações. Em azul claro estão apresentadas as áreas inundadas e, em cor laranja, os 134 municípios afetados por estas áreas.

### 3. Etapa 2: Versão 2.0 do Mapa – União do Mapa Versão 1.0 com a Mancha do Estado do Rio Grande do Sul e Dados do CEMADEN

No dia 24/05/2024, o Estado do Rio Grande do Sul forneceu a Mancha de Inundações e Deslizamentos, gerada utilizando imagens da constelação Planet<sup>1</sup> (resolução espacial de 3 metros) por meio de técnicas de processamento digital de imagens, detalhada no [Anexo - Mancha de Inundação, alagamento, enxurrada e movimentos de massa do Estado do Rio Grande do Sul](#). O mapa com a mancha é a utilizada pelo Estado do Rio Grande do Sul para suas

<sup>1</sup> © Planet Labs Inc. 2024

ações de resposta ao desastre e contém as áreas diretamente afetadas por inundações e deslizamentos. Entretanto, não há distinção entre inundações e deslizamentos e um polígono pode representar tanto uma área afetada por inundação, por deslizamento, ou uma combinação dos dois tipos. Esse dado é mostrado na Figura 5.

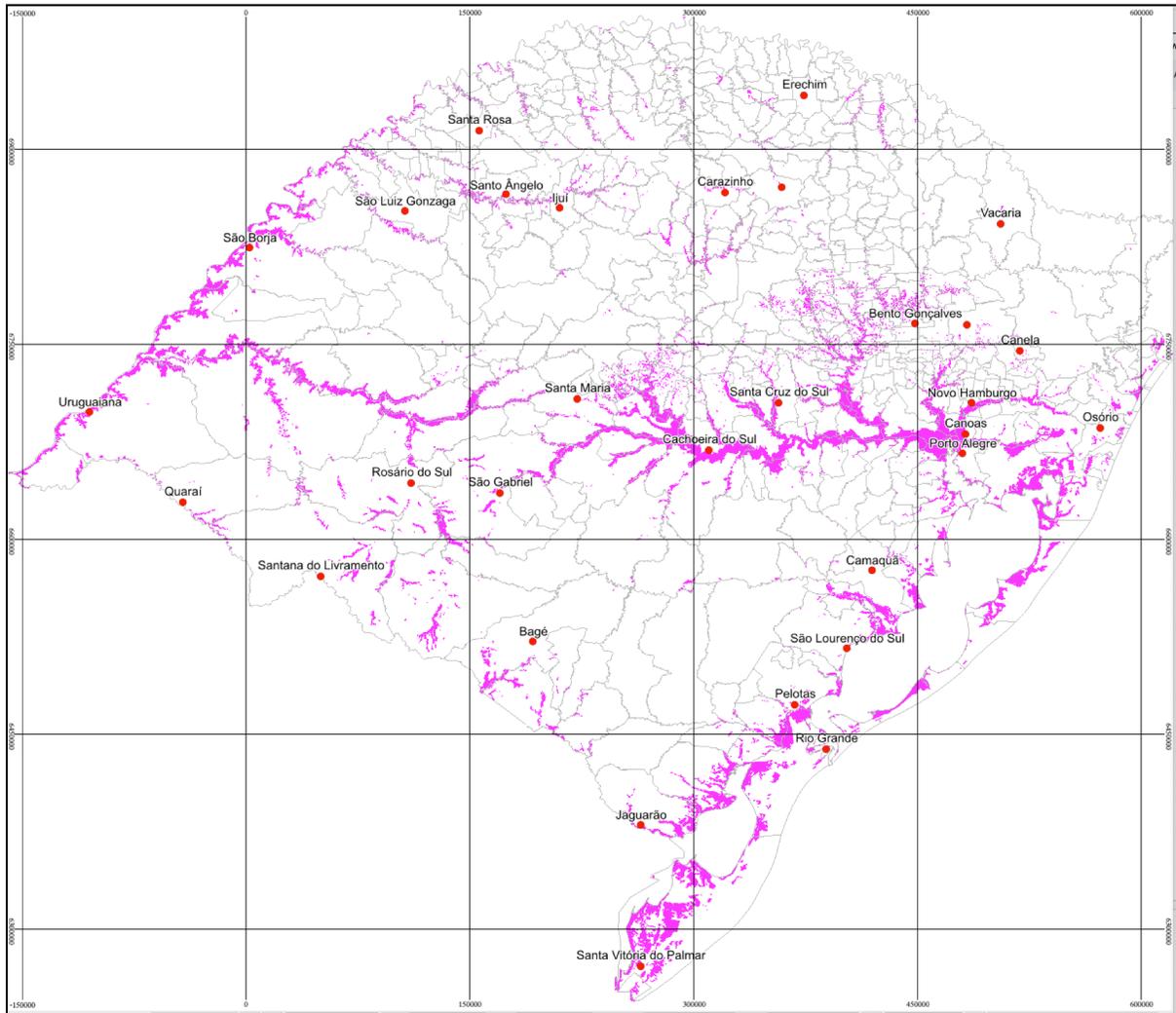


Figura 5 - Mancha de inundações e deslizamentos elaborada pelo Estado do Rio Grande do Sul.

Para a bacia do Rio Taquari, o CEMADEN disponibilizou a mancha de inundação que foi gerada através de simulações computacionais, realizadas com a combinação do modelo hidrodinâmico HEC-RAS 2D versão 6.5 e o modelo normalizado de terrenos HAND (Height Above Nearest Neighbor), detalhada no [Anexo - Metodologia do CEMADEN para o Mapeamento da Inundação](#). A modelagem hidrodinâmica utilizou vazões máximas previstas pelo modelo hidrológico LisFlood para simular a inundação dos rios principais considerando o pico da cheia observado em cada estação fluviométrica e o modelo HAND foi utilizado para

mapear a extensão da inundação estática nas cabeceiras da bacia e em rios menores, considerando também o pico da cheia observado na estação fluviométrica mais próxima da área mapeada. A validação da extensão das manchas foi realizada por comparação com dados das imagens da constelação Planet<sup>2</sup>. A Tabela 2 do [Anexo - Lista de Municípios](#) apresenta a lista dos municípios intersectados pela mancha de inundação disponibilizada pelo CEMADEN para a bacia do Rio Taquari. A mancha é apresentada na Figura 6.

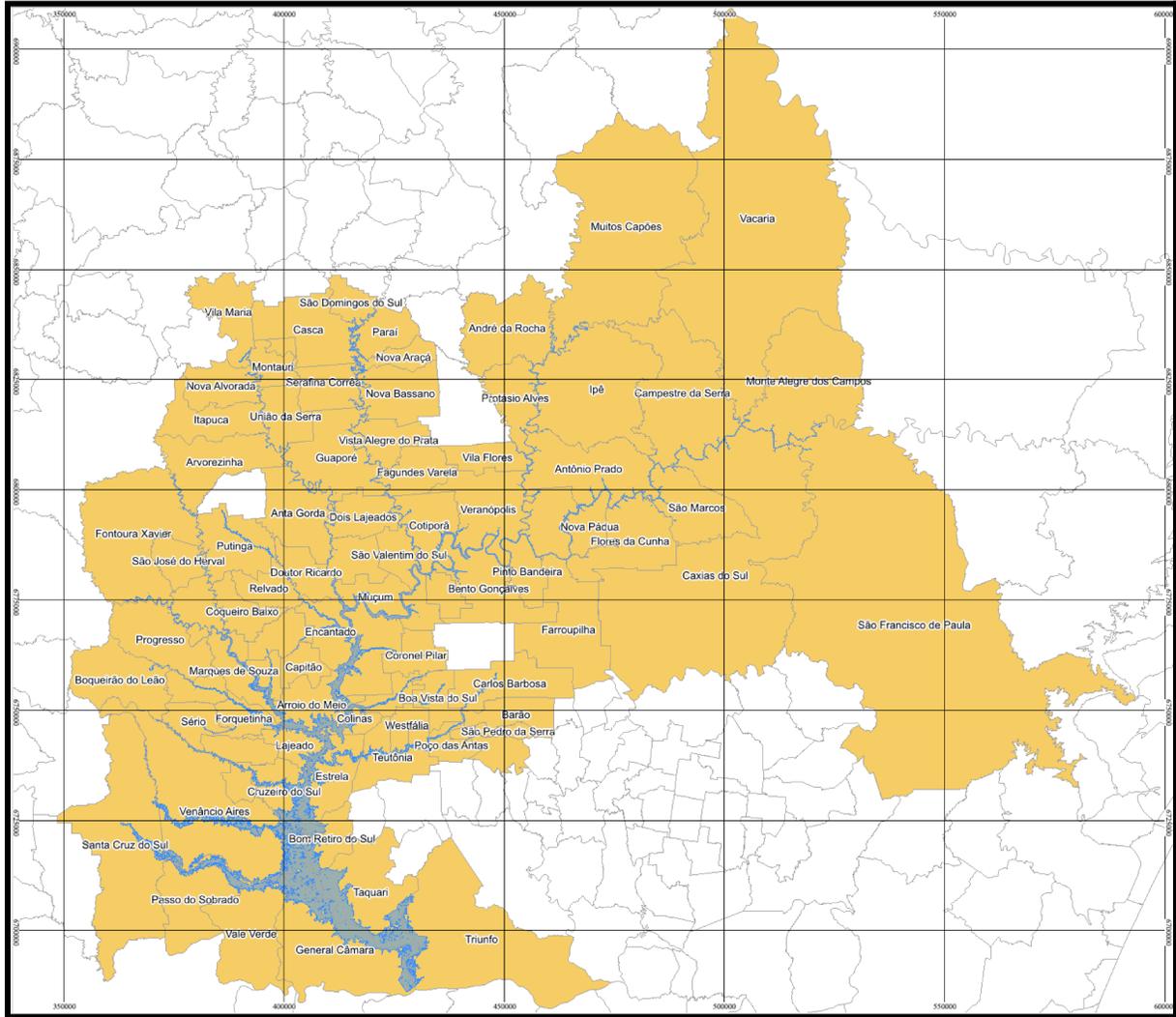


Figura 6 – Mancha CEMADEN com os 85 municípios intersectados.

Os dados do Estado do Rio Grande do Sul e do CEMADEN foram integrados, por união, com a Versão 1.0 do Mapa para gerar a Versão 2.0. O Decreto Federal de 15 de Maio de 2024 lista 369 municípios em situação de emergência ou calamidade pública e somente 45 municípios

<sup>2</sup> © Planet Labs Inc. 2024

estão (apresentados na Tabela 3 do [Anexo - Lista de Municípios](#)) não foram cobertos ou não tinham interseção com a versão 2.0 do Mapa. A Figura 7 mostra este mapa entregue para a DataPrev no dia 28/05/2024 com os 45 municípios.

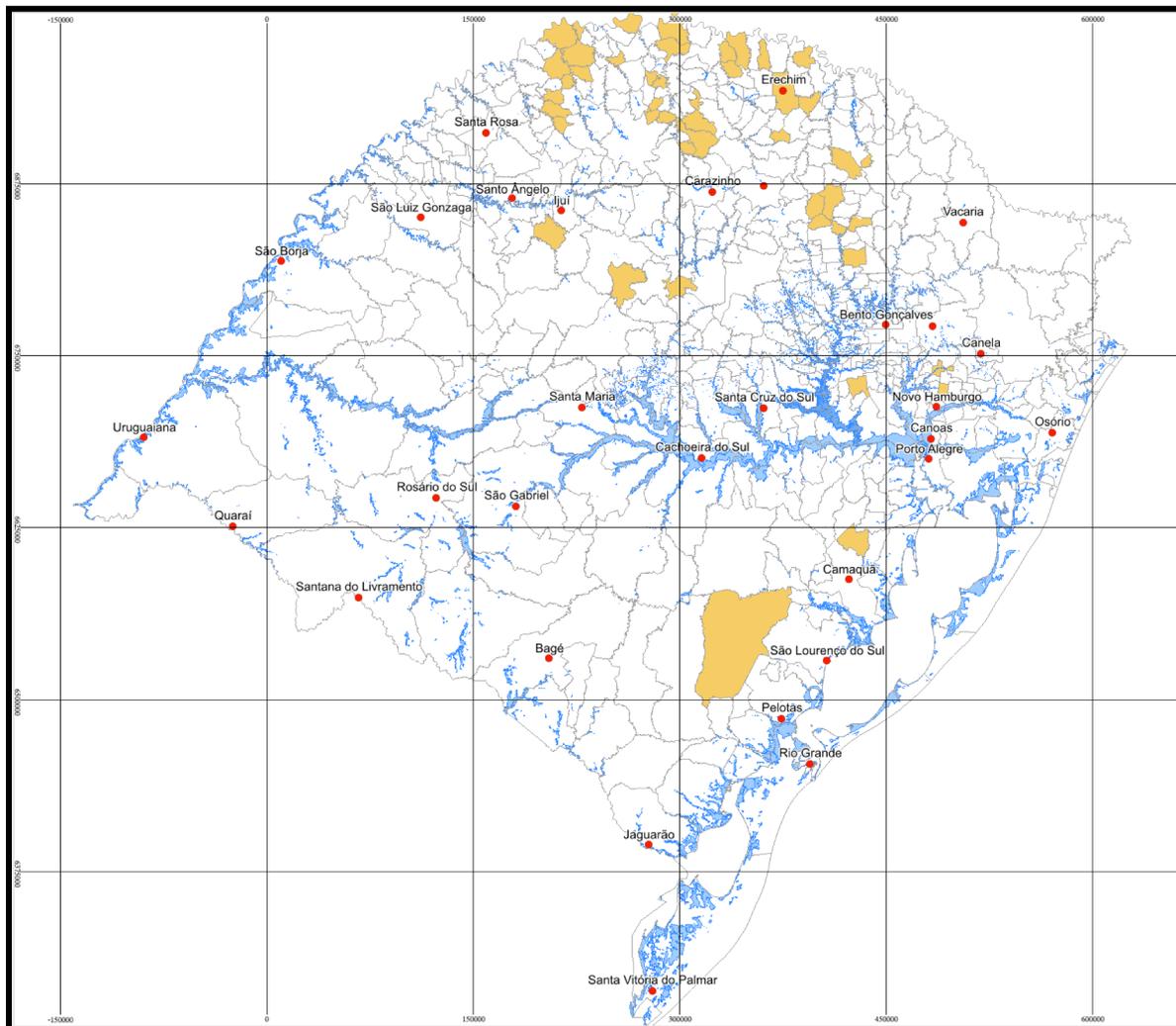


Figura 7 – Versão 2.0 do Mapa de Inundações e Deslizamentos.

#### 4. Etapa 3: Refinamento nas Bordas da Versão 2.0 pelo INPE

Devido à disponibilidade de imagens adicionais em relação às utilizadas nas Versões 1.0 e 2.0, foi decidido que áreas não detectadas nessas versões poderiam ser refinadas por meio de interpretação visual das novas imagens. Para esta tarefa, o INPE alocou uma parte da equipe que executa o projeto de Monitoramento dos Biomas Brasileiros. A etapa de refinamento das bordas foi realizada com imagens de constelações de satélite de altíssima resolução espacial (igual ou inferior a 1 metro) vindas da ativação da Carta Internacional Espaço e Grandes

Desastres, incluindo Pleiades<sup>3</sup>, Vision-1<sup>4</sup>, GeoEye<sup>5</sup>, WorldView<sup>6</sup>, e BlackSky<sup>7</sup>, e de alta resolução (3 metros) da constelação Planet<sup>8</sup>. Imagens Planet adicionais foram obtidas através do Programa NICFI<sup>9</sup> (*Norway's International Climate and Forests Initiative Satellite Data Program*) que o INPE participa. Foi necessário ainda incluir o uso de imagens GeoEye, WorldView e BlackSky cedidas pela Força Aérea Brasileira.

Para cada município considerado prioritário com disponibilidade de imagens de satélite em altíssima resolução espacial, foram selecionadas as imagens com datas de imageamento mais próximas possível do pico da cheia, descartando imagens com alta cobertura de nuvens. Para o caso de Porto Alegre, por exemplo, o pico da cheia do Rio Guaíba ocorreu por volta do dia 5 de maio, atingindo 530 cm acima do seu nível normal e no dia 15 de maio, o nível voltou a atingir valores altos (527 cm). A imagem mais próxima usada para mapear as inundações de Porto Alegre foi do dia 7 de maio.

Sobre estas imagens foram interpretadas as áreas onde existem evidências da inundação em seu pico, com o apoio do HAND fornecido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), descrito no [Anexo - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico](#). Estas áreas foram acrescidas à mancha da Versão 2.0. A Figura 8(a) mostra a imagem Pleiades do dia 6 de maio de 2024 sobre uma parte do município de Lajeado. Na Figura 8(b), a mancha da Versão 2.0 está em azul e as áreas interpretadas estão em magenta.

---

<sup>3</sup> Pleiades © CNES 2024, Distribution Airbus DS

<sup>4</sup> Vision-1 © Airbus Defence and Space Limited 2024, all rights reserved

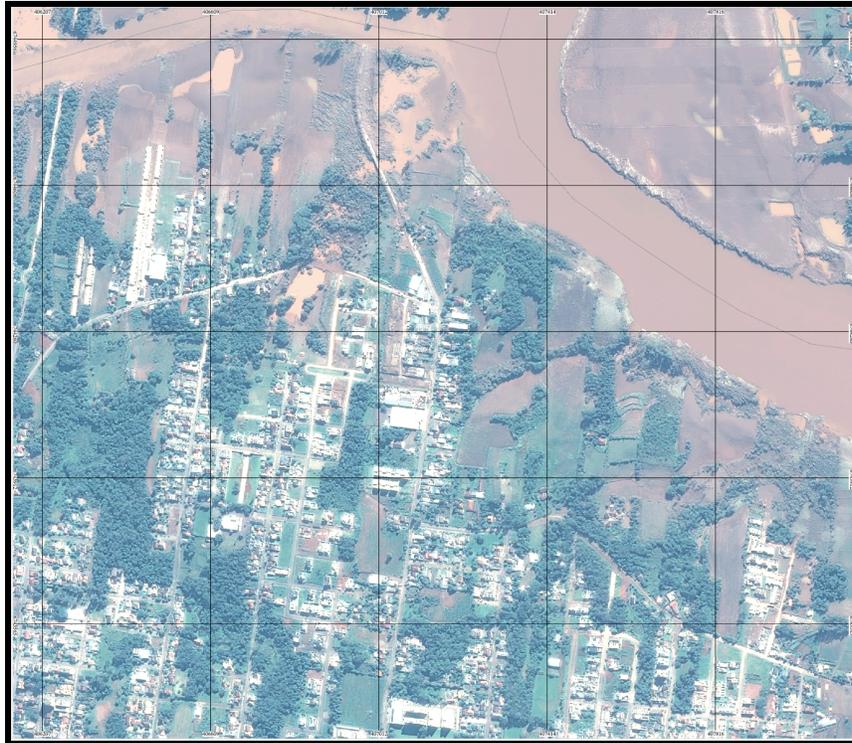
<sup>5</sup> © 2024 GeoEye - NextView License

<sup>6</sup> © 2024 Digital Globe - NextView License

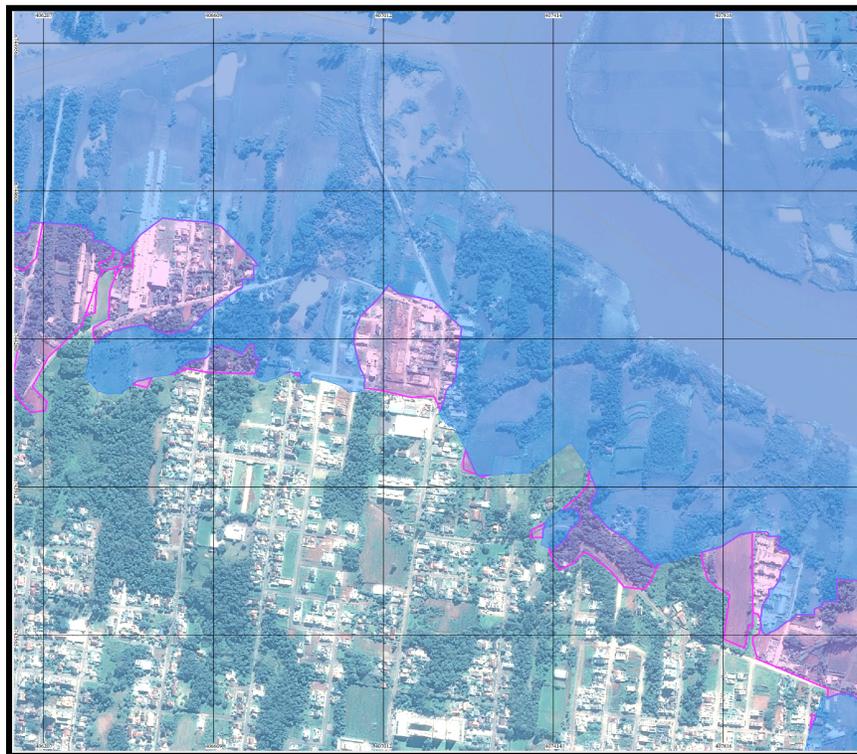
<sup>7</sup> © BlackSky 2024

<sup>8</sup> © Planet Labs Inc. 2024

<sup>9</sup> <https://www.planet.com/nicfi/>



(a)



(b)

Figura 8 - Imagem Pleiades sobre uma parte do município de Lajeado (a) e a mancha da Versão 2.0 em azul e as áreas interpretadas como incrementos pelo INPE em magenta.

Essa etapa do refinamento das bordas foi feita para 39 municípios considerados prioritários: Lajeado, Canoas, Porto Alegre, Sapucaia do Sul, São Leopoldo, Rio Grande, Colinas, Esteio, Nova Santa Rita, Eldorado do Sul, São Lourenço do Sul, Arroio do Meio, Cachoeirinha, Gravataí, Venâncio Aires, Estrela, Alvorada, Arroio do Tigre, Charqueadas, Igrejinha, Novo Hamburgo, Parobé, Taquara, Três Coroas, Candelária, Cruzeiro do Sul, Encantado, Feliz, General Câmara, Rio Pardo, Roca Sales, Santa Cruz do Sul, Sobradinho, Rolante, Montenegro, Taquari, Triunfo, São Jerônimo e Campo Bom. Nos municípios de Eldorado do Sul e São Lourenço do Sul não foram encontrados incrementos. A Figura 9 mostra os incrementos interpretados pelo INPE nesses 39 municípios.

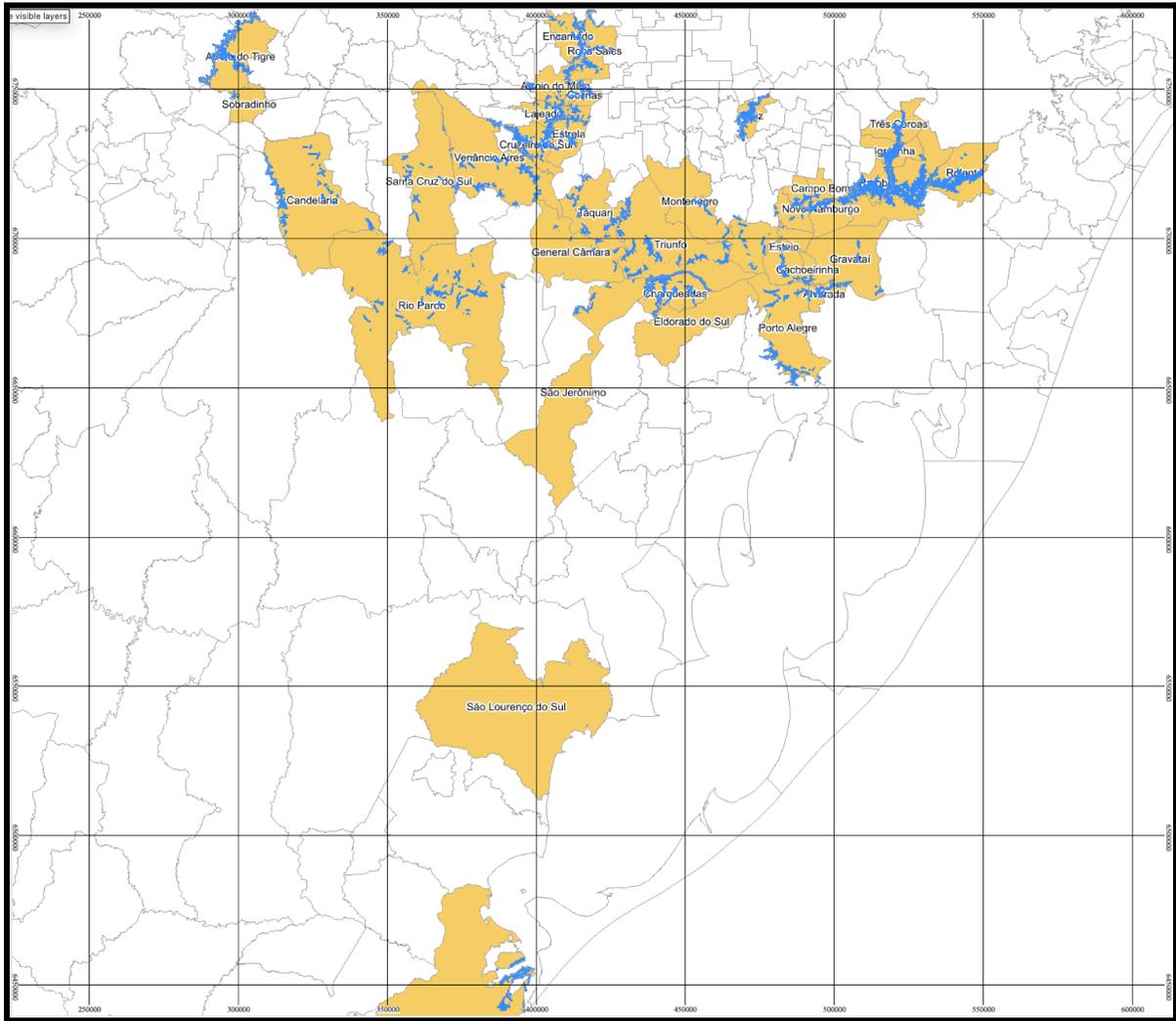


Figura 9 – Incrementos da mancha de inundação gerados pelo INPE em 39 municípios.

## 5. Etapa 4: Inundações por Modelagem Computacional em Municípios Fora da Versão 2.0 do Mapa e Mapeamento de Deslizamentos pelo CEMADEN

### Inundações por Modelagem Computacional em Municípios Fora da Versão 2.0 do Mapa

Para os municípios não incluídos na Versão 2.0 do mapa, o CEMADEN disponibilizou as áreas de inundação para 41 municípios, geradas através de simulações computacionais utilizando a mesma metodologia das áreas da bacia do Rio Taquari integradas na Versão 2.0.

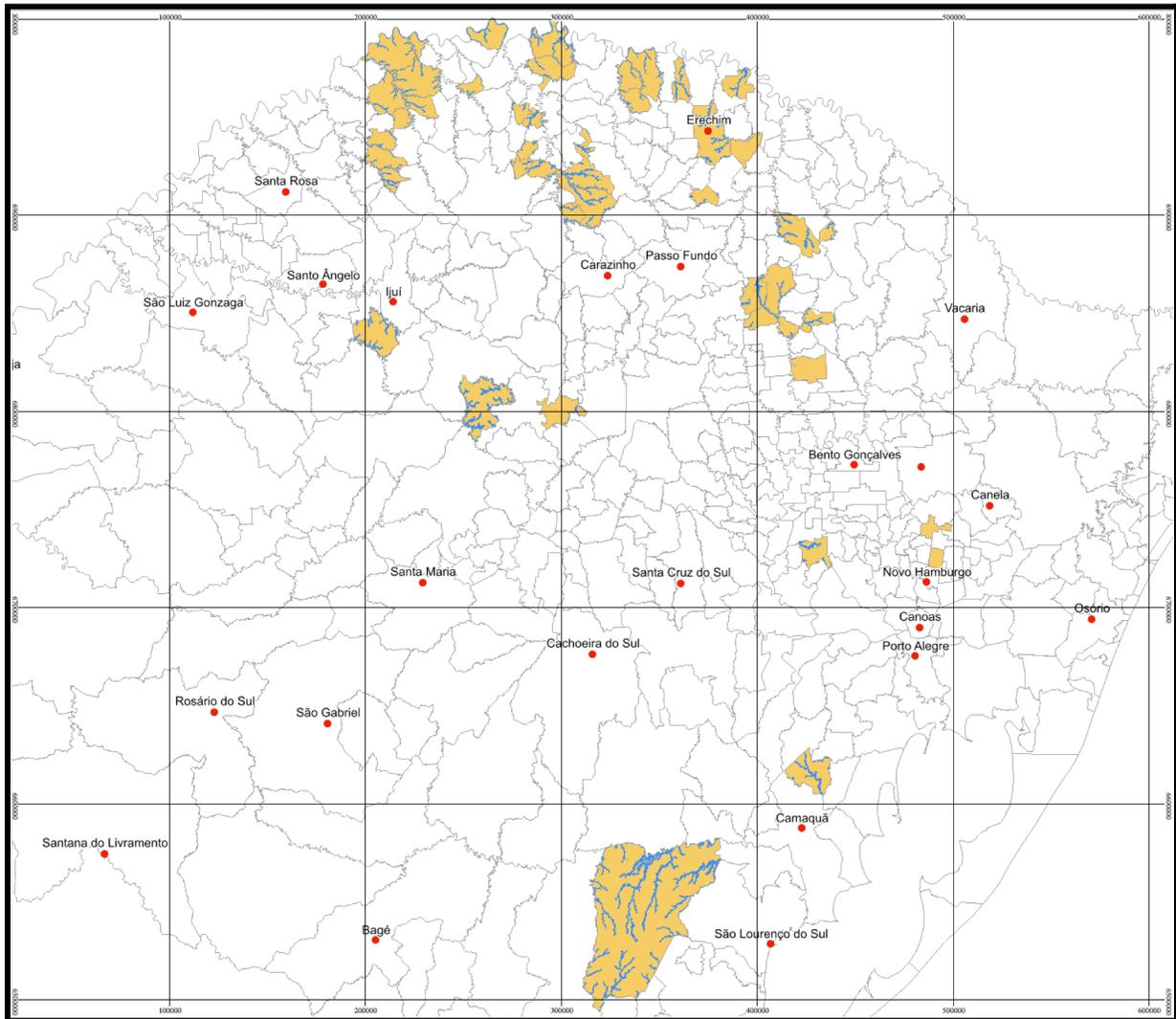


Figura 10 – Inundações por Modelagem Computacional pelo CEMADEN.

## Mapeamento das Feições Relacionadas aos Movimentos Gravitacionais de Massa (Deslizamentos)

O mapeamento das feições relacionadas aos movimentos gravitacionais de massa foi realizado pela equipe de Geodinâmica do CEMADEN e os 50 municípios mapeados na versão atual foram disponibilizados. Outros 81 municípios estão em fase de mapeamento com previsão de entrega até 19 de julho de 2024. As áreas alvo do mapeamento compreendem os municípios atingidos por processos de deslizamentos e fluxos de detritos na região centro-nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. A Figura 11 apresenta os deslizamentos em vermelho e os 50 municípios estão na Tabela 4 do [ANEXO - Lista de Municípios](#).

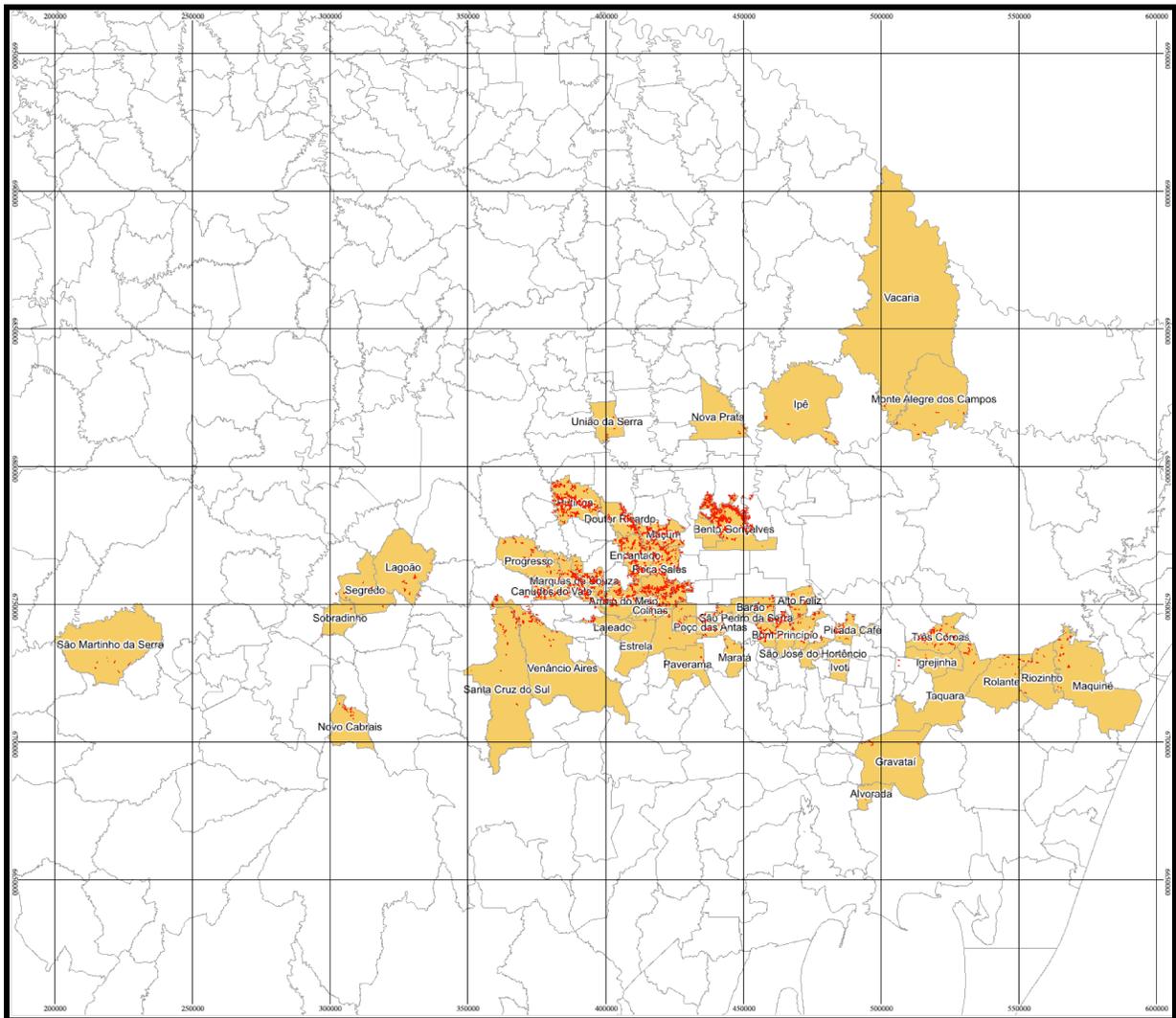


Figura 11 – Deslizamentos mapeados pelo CEMADEN

## 6. Etapa 5: Versão 3.0 do Mapa

O Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) executou interpretações de imagens adicionais, utilizando imagens ópticas complementadas por modelos digitais de terreno e pontos coletados em campo. As interpretações adicionais da UFRGS, as manchas de inundação e deslizamentos do CEMADEN e os incrementos interpretados pelo INPE foram utilizados para gerar a Versão 3.0 da mancha através de sua união com a mancha da Versão 2.0.

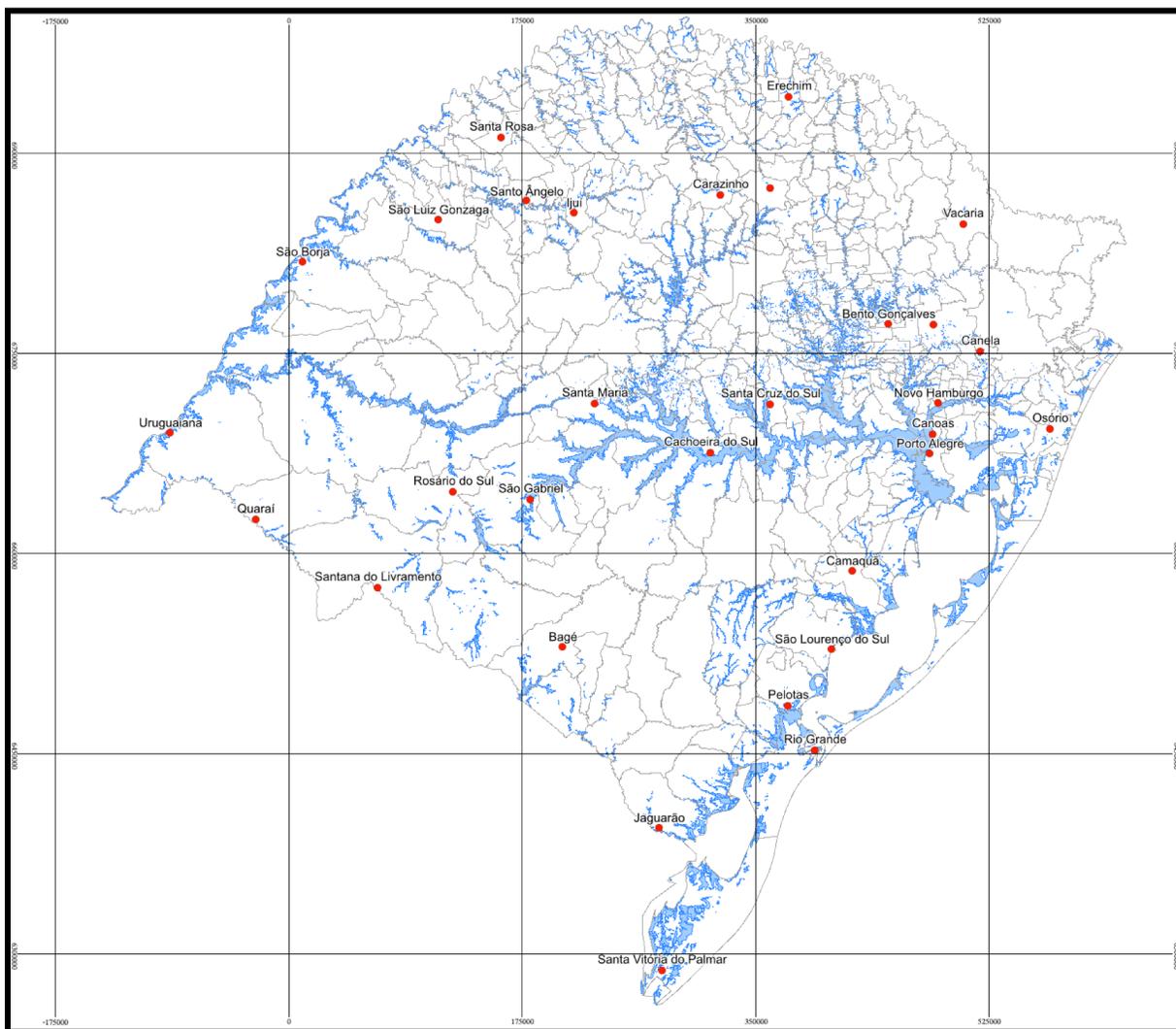


Figura 12 – Versão 3.0 do Mapa.

A versão 3.0 do Mapa de Inundações e Movimentos de Massa está para visualização em sistemas de informações geográficas e similares através do serviço WMS (*Web Map Service*):

Endereço: <https://data.inpe.br/big/geoserver/charter/wms>

Título: "Mapa de Inundações e Movimentos de Massa do Desastre do RS - Versão 3.0"

# ANEXOS

[Cronograma de Entregas](#)

[Mancha de Inundação da UFRGS](#)

[Mancha de Inundação do Exército Brasileiro](#)

[Mancha de Inundação e Deslizamentos do Estado do Rio Grande do Sul](#)

[Metodologia do CEMADEN para o Mapeamento da Inundação](#)

[Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico](#)

[Mapeamento das Feições de Movimentos de Massa - CEMADEN](#)

## Anexo - Cronograma de Entregas

Tabela 1 – Cronograma de Atividades e Entregas para a DataPrev

Data	Atividades
23/05/24	Reunião online para apresentação dos dados das instituições
24/05/24	Geração da Versão 1.0 do Mapa de Inundações pela Equipe do INPE
25/05/24	Entrega da Versão 1.0 do Mapa de Inundações para a DataPrev
28/05/24	Entrega da Versão 2.0 do Mapa de Inundações e Deslizamentos para a DataPrev
28/05/24	Entrega do refinamento do INPE para a DataPrev: Lajeado e Canoas
31/05/24	Entrega do refinamento do INPE para a DataPrev: Porto Alegre, Sapucaia do Sul e São Leopoldo
04/06/24	Entrega do refinamento do INPE para a DataPrev: Rio Grande, Colinas, Esteio e Nova Santa Rita. E informamos que os municípios de Eldorado do Sul e São Lourenço do Sul não possuem novas áreas e não precisaram ser refinados.
07/06/24	Entrega do refinamento do INPE para a DataPrev: Arroio do Meio, Cachoeirinha, Gravataí, Venâncio Aires, Estrela.
11/06/24	Entrega do refinamento do INPE para a DataPrev: Alvorada, Igrejinha, Rolante, Taquara, Taquari e Triunfo. (esses municípios foram entregues novamente no dia 14/06 para integrar com os dados da UFRGS).
12/06/24	Entrega do refinamento do INPE para a DataPrev: Arroio do Tigre, Charqueadas, Montenegro, Novo Hamburgo, Parobé e Três Coroas. (esses municípios foram entregues novamente no dia 14/06 para integrar com os dados da UFRGS).
14/06/24	Entrega do refinamento do INPE para a DataPrev: Alvorada, Arroio do Tigre, Charqueadas, Igrejinha, Novo Hamburgo, Parobé, Taquara, Três Coroas, Candelária, Cruzeiro do Sul, Encantado, Feliz, General Câmara, Rio Pardo, Roca Sales, Santa Cruz do Sul, Sobradinho, Rolante, Montenegro, Taquari, Triunfo, São Jerônimo e Campo Bom.
17/06/24	Entrega da Versão 3.0 para a DataPrev

## Anexo - Mancha de Inundação da UFRGS

**Autores:** Possantti, I.; Aguirre, A.; Alberti, C.; Andrades, C.; Azeredo, L.; Barbedo, R.; Barcelos, M.; Becker, F.; Bedin, M.; Bregalda, N.; Cacciatore, J.; Camana, M.; Camargo, P.; Cantor, G.; Cardozo, T.; Cargnin, B.; Carrard, G.; Castilhos, M.; Cazanova, R.; Chiarelli, F.; Collishonn, W.; Cornely, A.; Cremon, É.; Cunha, L.; Cunha, R.; Cárdenas, S.; Dorneles, J.; Dornelles, F.; Eckhardt, R.; Fan, F.; Froner, M.; Giacom, B.; Giasson, S.; Goldenfum, J.; González-Ávila, I.; Gonçalves, C.; Gonçalves, G.; Guasselli, L.; Guimarães, E.; Guimarães, E.; Hellmann, A.; Herrmann, P.; Horstmann, G.; Iablonovski, G.; Iescheck, A.; Kipper, P.; Kobayama, M.; Krasner, M.; Krob, L.; Kuele, P.; Laipelt, L.; Lutz, V.; Maciel, J.; Magalhães, F.; Mallet, J.; Marques, B.; Marques, G.; Meirelles, F.; Mexias, L.; Michel, G.; Michel, R.; Mincarone, M.; Müller, J.; Neves, É.; Nicolini, I.; Nonnemacher, L.; Novakoski, K.; Oliveira, G.; Oliveira, M.; Oliveira, S.; Ott, P.; Paiva, R.; Peres, L.; Petry, L.; Quevedo, R.; Quintela, R.; Ramos, M.; Rauber, A.; Reis, M.; Ribeiro, M.; Righi, M.; Risso, A.; Rodrigues, R.; Roitman, A.; Rorato, G.; Royer, S.; Ruhoff, A.; Ruoso, E.; Sampaio, M.; Schabbach, L.; Schiaffino, M.; Schmitt, H.; Schumacher, R.; Schwarzer, G.; Sigallis, A.; Silva, M.; Silva, S.; Sluter, C.; Soares, L.; Soares, V.; Sousa, L.; Souza, A.; Tschiedel, A.; Ucha, L.; Umbelino, G.; Utzig, E.; Zambrano, F.

**Link para acesso aos dados:** <https://zenodo.org/records/12593168>

**Versão:** 1.1

A mancha de inundação gerada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (Figura 1) foi gerada a partir de diferentes métodos com a integração de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto (Sentinel-2, Planet, Skysat e WorldView-2, obtidas nos dias 06/05/2024 e 08/05/2024). Também foram utilizados dados adicionais, incluindo modelo digital do terreno da Região Funcional 1 (MDT-RF1) (SPGG-RS & CGEO), modelo digital de elevação FABDEM e ANADEM, além de pontos coletados em campo, durante ou próximo do pico da inundação. Inicialmente, as áreas foram classificadas a partir da aplicação do Índice Normalizado de Água (NDWI), com validação a partir da interpretação visual das imagens em cores naturais. As imagens também foram utilizadas para extração de pontos limites da inundação, por interpretação visual, de modo a identificar não somente os limites com água em superfície, mas também os limites identificáveis com lama e detritos, indicando áreas com provável passagem da onda de cheia. Posteriormente, esses pontos foram utilizados para extração de cota de inundação ao longo dos vales, usando o MDT-RF1 quando disponível. A cota de inundação foi interpolada pelo método de krigagem ordinária. Após isso, foi realizada a subtração da cota de inundação interpolada pela elevação obtida por meio do MDE, resultando em profundidades estimadas de água e limites da mancha de inundação. Os pontos de campo foram usados para validação da mancha de inundação. Quando necessário, em função da resolução dos modelos digitais usados, a mancha de inundação foi editada manualmente quando constatada discrepância entre a área mapeada e a mancha observada nas imagens multiespectrais. Por fim, as áreas impactadas por inundações na região hidrográfica da Lagoa dos Patos foi obtida a partir de modelagem hidrodinâmica 2D utilizando o software HEC-RAS com o modelo digital do terreno ANADEM e vazões máximas observadas de aproximadamente  $30.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

**Observação:** MDT-RF1 foi disponibilizado na resolução espacial de 2,5 m, gerado a partir de imagens aéreas, na resolução espacial de 0,35m, obtidas em levantamento realizado em 2018. Projeto coordenado pela SPGG-RS em parceria com o 1º CGEO, Exército Brasileiro.

## Citação completa para referência bibliográfica:

Possantti, I.; Aguirre, A.; Alberti, C.; Andrades Filho, C.; Azeredo, L.; Balbon, J.; Barbedo, R.; Barcelos, M.; Becker, F.; Bedin, M.; Bregalda, N.; Cacciatore, J.; Camana, M.; Camargo, P.; Cantor, G.; Cardozo, T.; Cargnin, B.; Carrard, G.; Castilhos, M.; Cazanova, R.; Chiarelli, F.; Collishonn, W.; Cornely, A.; Cremon, É.; Cunha, L.; Cunha, R.; Cárdenas, S.; Dorneles, J.; Dornelles, F.; Eckhardt, R.; Fan, F.; Froner, M.; Giacom, B.; Giasson, S.; Goldenfum, J.; González-Ávila, I.; Gonçalves, C.; Gonçalves, G.; Guasselli, L.; Guimarães, E.; Guimarães, E.; Hellmann, A.; Herrmann, P.; Horstmann, G.; Iablonovski, G.; Iescheck, A.; Kipper, P.; Kobayama, M.; Krasner, M.; Krob, L.; Kuele, P.; Laipelt, L.; Lutz, V.; Maciel, J.; Magalhães, F.; Mallet, J.; Marques, B.; Marques, G.; Meirelles, F.; Mexias, L.; Michel, G.; Michel, R.; Mincarone, M.; Moura, E.; Müller, J.; Neves, É.; Nicolini, I.; Nonnemacher, L.; Novakoski, K.; Oliveira, G.; Oliveira, M.; Ott, P.; Paiva, R.; Peres, L.; Petry, L.; Quevedo, R.; Quintela, R.; Ramos, M.; Rauber, A.; Reis, M.; Ribeiro, M.; Righi, M.; Risso, A.; Rodrigues, R.; Roitman, A.; Rorato, G.; Royer, S.; Ruhoff, A.; Ruoso, E.; Sampaio, M.; Schabbach, L.; Schiaffino, M.; Schmitt, H.; Schumacher, R.; Schwarzer, G.; Serrano, N.; Sigallis, A.; Silva, M.; Silva, S.; Sluter, C.; Soares, L.; Soares, V.; Sousa, L.; Souza, A.; Tschiedel, A.; Ucha, L.; Umbelino, G.; Utzig, E.; Zambrano, F. (2024). **Banco de dados das cheias na Região Hidrográfica do Lago Guaíba em maio de 2024** (Versão 1.1) Zenodo. <https://zenodo.org/records/12593168>

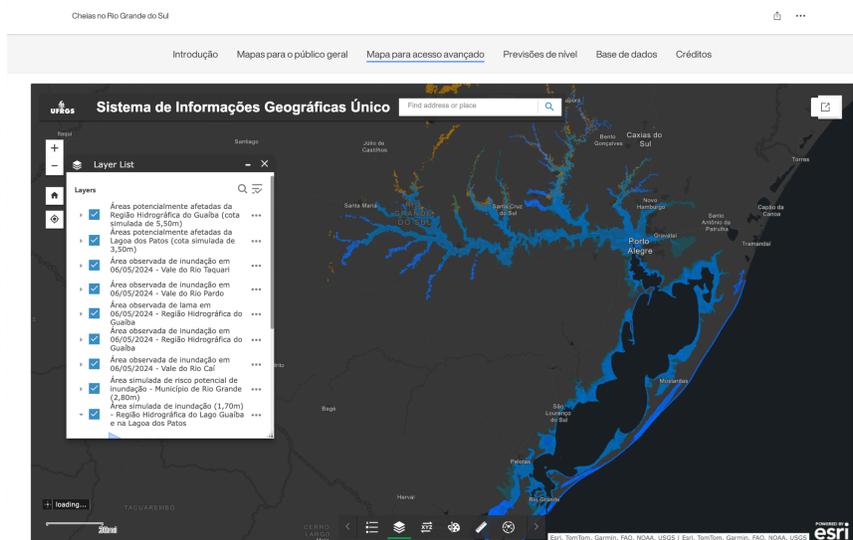


Figura 1 – Mapa produzido pelo Instituto de Pesquisa Hidráulicas (IPH)/Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) disponível na plataforma na data 19/06/2024 no link: <https://storymaps.arcgis.com/stories/a81d69f4bccf42989609e3fe64d8ef48>

## **Anexo - Mancha de Inundação do Exército Brasileiro**

**Autor:** Felipe de Carvalho Diniz

*1º Centro de Geoinformação (1º CGEO) - Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG)*

Durante as enchentes de Maio de 2024 no Rio Grande do Sul, o 1º Centro de Geoinformação gerou o polígono do nível máximo de inundação utilizando dados de sensores remotos e análises de Modelos Digitais de Elevação (DEM). Inicialmente, foram utilizados DEMs do Convênio de Mapeamento do Estado do Rio Grande do Sul com o Exército Brasileiro, com pixel de 2,5 metros, e FABDEM com pixel de 30 metros, baseados nos níveis de inundação verificados em campo pelo Exército Brasileiro. Uma vez que houve condições climáticas favoráveis para a obtenção de imagens de satélite sem nuvens, esse polígono foi refinado com imagens de média, alta e altíssima resolução dos satélites Sentinel, Planet, Blacksky, Worldview 2 e 3, complementados por dados de campo para validação.

## Anexo - Lista de Municípios

Tabela 1 – 134 municípios com interseções parte dele na Versão 1.0 da Mancha de Inundações

AGUDO	CANUDOS DO VALE	FAGUNDES VARELA	MARQUES DE SOUZA	PICADA CAFÉ	SÃO JERÔNIMO	TRAVESSEIRO
ALVORADA	CAPÃO DO LEÃO	FAXINAL DO SOTURNO	MINAS DO LEÃO	PINTO BANDEIRA	SÃO JOÃO DO POLÉSINE	TRIUNFO
ANTA GORDA	CAPELA DE SANTANA	FELIZ	MONTE BELO DO SUL	PORTÃO	SÃO JOSÉ DO HERVAL	TUPANDI
ARAMBARÉ	CAXIAS DO SUL	FONTOURA XAVIER	MONTENEGRO	PORTO ALEGRE	SÃO JOSÉ DO HORTÊNCIO	TURUÇU
ARARICÁ	CERRO BRANCO	FORMIGUEIRO	MOSTARDAS	POUSO NOVO	SÃO JOSÉ DO NORTE	UNIÃO DA SERRA
ARROIO DO MEIO	CHARQUEADAS	FORQUETINHA	MUÇUM	PRESIDENTE LUCENA	SÃO JOSÉ DO SUL	VALE DO SOL
ARVOREZINHA	COLINAS	GENERAL CÂMARA	NOVA BASSANO	PROGRESSO	SÃO LEOPOLDO	VALE REAL
BARRA DO RIBEIRO	COQUEIRO BAIXO	GLORINHA	NOVA PALMA	PROTÁSIO ALVES	SÃO LOURENÇO DO SUL	VALE VERDE
BARROS CASSAL	COTIPORÃ	GRAVATAÍ	NOVA PETRÓPOLIS	PUTINGA	SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ	VENÂNCIO AIRES
BENTO GONÇALVES	CRISTAL	GUAÍBA	NOVA SANTA RITA	RELVADO	SÃO SEPÉ	VERA CRUZ
BOM PRINCÍPIO	CRUZEIRO DO SUL	GUAPORÉ	NOVO CABRAIS	RESTINGA SECA	SÃO VALENTIM DO SUL	VERANÓPOLIS
BOM RETIRO DO SUL	DILERMANDO DE AGUIAR	HARMONIA	NOVO HAMBURGO	RIO GRANDE	SÃO VENDELINO	VESPASIANO CORREA
BUTIÁ	DOIS IRMÃOS	IMIGRANTE	PALMARES DO SUL	RIO PARDO	SAPIRANGA	VIAMÃO
ÇAÇAPAVA DO SUL	DOIS LAJEADOS	ITAPUCA	PANTANO GRANDE	ROCA SALES	SAPUCAIA DO SUL	VISTA ALEGRE DO PRATA
CACHOEIRA DO SUL	DONA FRANCISCA	IVOTI	PARAÍSO DO SUL	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	
CACHOEIRINHA	DOUTOR RICARDO	LAGOA DOS PATOS	PARECI NOVO	SANTA MARIA	TABAÍ	
CAMAQUÃ	ELDORADO DO SUL	LAJEADO	PAROBÉ	SANTA TEREZA	TAPES	
CAMPO BOM	ENCANTADO	LINDOLFO COLLOR	PASSA SETE	SANTANA DA BOA VISTA	TAQUARA	
CANDELÁRIA	ESTEIO	LINHA NOVA	PASSO SOBRADO DO	SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA	TAQUARI	
CANOAS	ESTRELA	MARATÁ	PELOTAS	SÃO GABRIEL	TAVARES	

Tabela 2 – 85 municípios com interseções no CEMADEN Taquari

ANDRÉ DA ROCHA	CANUDOS DO VALE	DOUTOR RICARDO	IPÊ	NOVA ARAÇÁ	PROTÁSIO ALVES	SÃO MARCOS	VALE VERDE
ANTA GORDA	CAPITÃO	ENCANTADO	ITAPUCA	NOVA BASSANO	PUTINGA	SÃO PEDRO DA SERRA	VENÂNCIO AIRES
ANTÔNIO	CARLOS	ESTRELA	LAJEADO	NOVA BRÉSCIA	RELVADO	SÃO	VERANÓPOLIS

PRADO	BARBOSA					VALENTIM DO SUL	
ARROIO DO MEIO	CASCA	FAGUNDES VARELA	MARQUES DE SOUZA	NOVA PÁDUA	ROCA SALES	SERAFINA CORRÊA	VESPASIANO CORRÊA
ARVOREZINHA	CAXIAS DO SUL	FARROUPILHA	MATO LEITÃO	NOVA ROMA DO SUL	SALVADOR DO SUL	SÉRIO	VILA FLORES
BARÃO	COLINAS	FLORES DA CUNHA	MONTAURI	PARÁI	SANTA CLARA DO SUL	TAQUARI	VILA MARIA
BENTO GONÇALVES	COQUEIRO BAIXO	FONTOURA XAVIER	MONTE ALEGRE DOS CAMPOS	PASSO DO SOBRADO	SANTA CRUZ DO SUL	TEUTÔNIA	VISTA ALEGRE DO PRATA
BOA VISTA DO SUL	CORONEL PILAR	FORQUETINHA	MONTE BELO DO SUL	PINTO BANDEIRA	SANTA TEREZA	TRAVESSEIRO	WESTFÁLIA
BOM RETIRO DO SUL	COTIPORÃ	GENERAL CÂMARA	MUÇUM	POÇO DAS ANTAS	SÃO DOMINGOS DO SUL	TRIUNFO	
BOQUEIRÃO DO LEÃO	CRUZEIRO DO SUL	GUAPORÉ	MUITOS CAPÕES	POUSO NOVO	SÃO FRANCISCO DE PAULA	UNIÃO DA SERRA	
CAMPESTRE DA SERRA	DOIS LAJEADOS	IMIGRANTE	NOVA ALVORADA	PROGRESSO	SÃO JOSÉ DO HERVAL	VACARIA	

Tabela 3 – 45 municípios sem interseções com Mancha Versão 2.0

ALPESTRE	CIRIACO	NOVA BASSANO	SÃO MARTINHO	PICADA CAFÉ
AUGUSTO PESTANA	DERRUBADAS	NOVA BOA VISTA	SÃO PEDRO DAS MISSÕES	
ÁUREA	ENGENHO VELHO	NOVO TIRADENTES	SÃO VALÉRIO DO SUL	
BARRA DO GUARITA	ERECHIM	PAVERAMA	SARANDI	
BARRA DO RIO AZUL	ERVAL GRANDE	PINHAL	SEDE NOVA	
BENJAMIN CONSTANT DO SUL	ESTAÇÃO	PLANALTO	SEVERIANO DE ALMEIDA	
BOA VISTA DO INCRA	FAXINALZINHO	RONDINHA	TAQUARUÇU DO SUL	
BOM PROGRESSO	GENTIL	SANTO ANTÔNIO DO PALMA	TENENTE PORTELA	
CAMPOS BORGES	IBIAÇÁ	SÃO DOMINGOS DO SUL	TRÊS PASSOS	
CANGUÇU	LAJEADO DO BUGRE	SÃO JORGE	VICENTE DUTRA	
CERRO GRANDE DO SUL	MIRAGUAÍ	SÃO JOSÉ DAS MISSÕES	DOIS IRMÃOS	

Tabela 4 – 50 municípios com Deslizamentos

ALTO FELIZ	ESTRELA	LAJEADO	POÇO DAS ANTAS	TAQUARA
ALVORADA	FELIZ	PAVERAMA	ROCA SALES	TEUTÔNIA
ARROIO DO MEIO	GRAVATAÍ	MARQUES DE SOUZA	ROLANTE	TRAVESSEIRO
BARÃO	IMIGRANTE	MONTE BELO DO SUL	PROGRESSO	TRÊS COROAS
BOM PRINCÍPIO	IPÊ	PICADA CAFÉ	PUTINGA	TUPANDI
BENTO GONÇALVES	IGREJINHA	MONTE ALEGRE DOS CAMPOS	SANTA CRUZ DO SUL	UNIÃO DA SERRA
CANUDOS DO VALE	IVOTI	MUÇUM	SÃO JOSÉ DO HORTÊNCIO	VACARIA
DOUTOR RICARDO	MAQUINÉ	RIOZINHO	SÃO MARTINHO DA SERRA	WESTFALIA
COLINAS	MARATÁ	NOVA PRATA	SÃO PEDRO DA SERRA	VENÂNCIO AIRES
ENCANTADO	LAGOÃO	NOVO CABRAIS	SOBRADINHO	NOVA HARTZ

## **Anexo - Mancha de Inundação e Deslizamentos do Estado do Rio Grande do Sul**

**Autores:** Luciana da Silva Mieres, Mariana Lisboa Pessoa

*Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão do Rio Grande do Sul (SPGG-RS)*

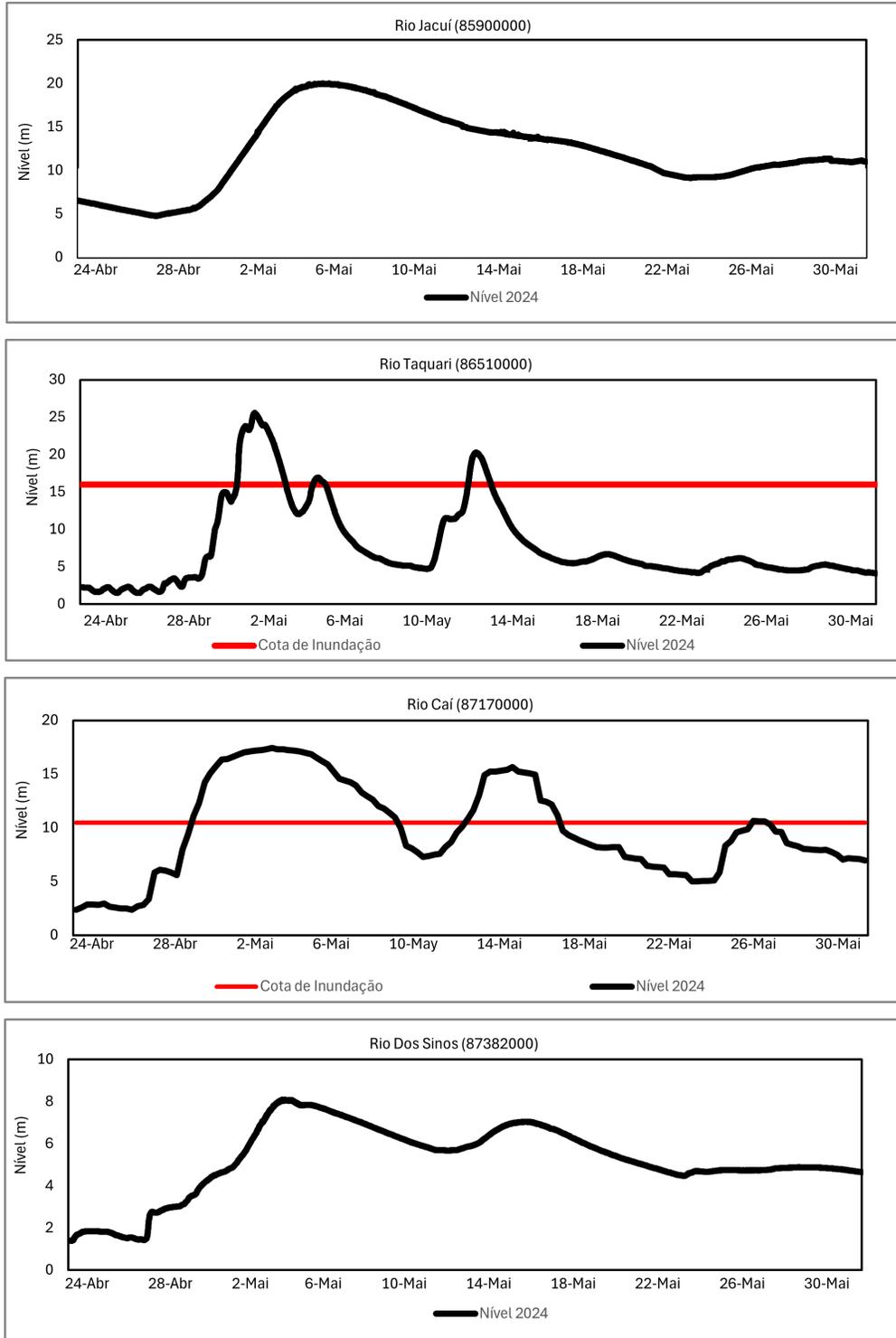
No dia 24/05/2024, o Estado do Rio Grande do Sul, através da Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, forneceu a mancha da Área Diretamente Atingida (ADA) por inundação, alagamento, enxurrada e movimentos de massa (versão finalizada em 23 de maio de 2024). Este produto deriva do processamento digital de imagens da constelação Planet, com resolução espacial de 3 metros, referente às datas entre 5 e 15 de maio. A classificação de alvos considerou a detecção de água, lama, cicatrizes de movimentos de massa e enxurrada. Esta versão foi ainda agregada pelo produto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul(UFRGS), obtido a partir do processamento de imagens do Programa Copernicus satélite Sentinel (do dia 06 de maio) para áreas da bacia do Taquari-Antas. A etapa final de consolidação da ADA consistiu na validação do produto a partir da interpretação visual de imagens da constelação Planet e Sentinel-2 (resolução espacial de 10 metros), além do uso do modelo digital de elevação ANADEM (resolução espacial de 30 metros). Não há distinção entre as áreas atingidas por inundação, alagamento, enxurrada ou movimentos de massa, sendo que uma mesma área pode ter sido atingida por mais de um tipo de evento.

## Anexo - Metodologia do CEMADEN para o Mapeamento da Inundação

No presente documento apresenta-se a metodologia utilizada para o mapeamento das manchas de (polígonos) de inundações e enxurradas com vistas a subsidiar o levantamento da extensão de áreas impactadas por inundação em decorrência do desastre ocorrido no estado do Rio Grande do Sul em maio de 2024. Ressalta-se que os mapeamentos de áreas inundadas foram feitos considerando-se dados das estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), disponibilizados no site da instituição. Tendo como referência para o mapeamento o nível máximo da água em estações fluviométricas que registraram o pico da cheia (Tabela 1).

**Tabela 1.** Estação fluviométricas e respectivas cotas máximas utilizadas no mapeamento das manchas de inundação.

Nome	Código da estação	Rio	Cota máxima (m)	Data da cota máxima
Pedro Osório	88641000	Piratini	9,02	01/05
Passo do Mendonça	87905000	Camaquã	7,48	02/05
Bom Retiro do Sul	86881000	Taquari	21,74	02/05
Muçum	86510000	Taquari	25,57	02/05
Barca do Caí	87170000	Caí	17,45	02/05
Rio Pardo	85900000	Jacuí	20,04	05/05
Cais do Mauá	87450004	Guaíba	5,35	06/05
São Leopoldo	87382000	Sinos	8,11	04/05
Passo das Canoas	87399000	Gravataí	6,23	06/05
Itapiranga	74329000	Uruguai	11,86	03/05
Iraí	74100000	Uruguai	12,70	03/05
Arambaré	87540000	Patos	2,60	09/05
São Lourenço	87921000	Patos	2,90	19/05
Laranjal	87955000	Patos	2,79	16/05
Rio Grande	87980000	Patos	2,22	16/05
FURG/CCMAR	87991100	Patos	2,62	16/05
Porto de Pelotas	88810100	São Gonçalo	3,00	16/05

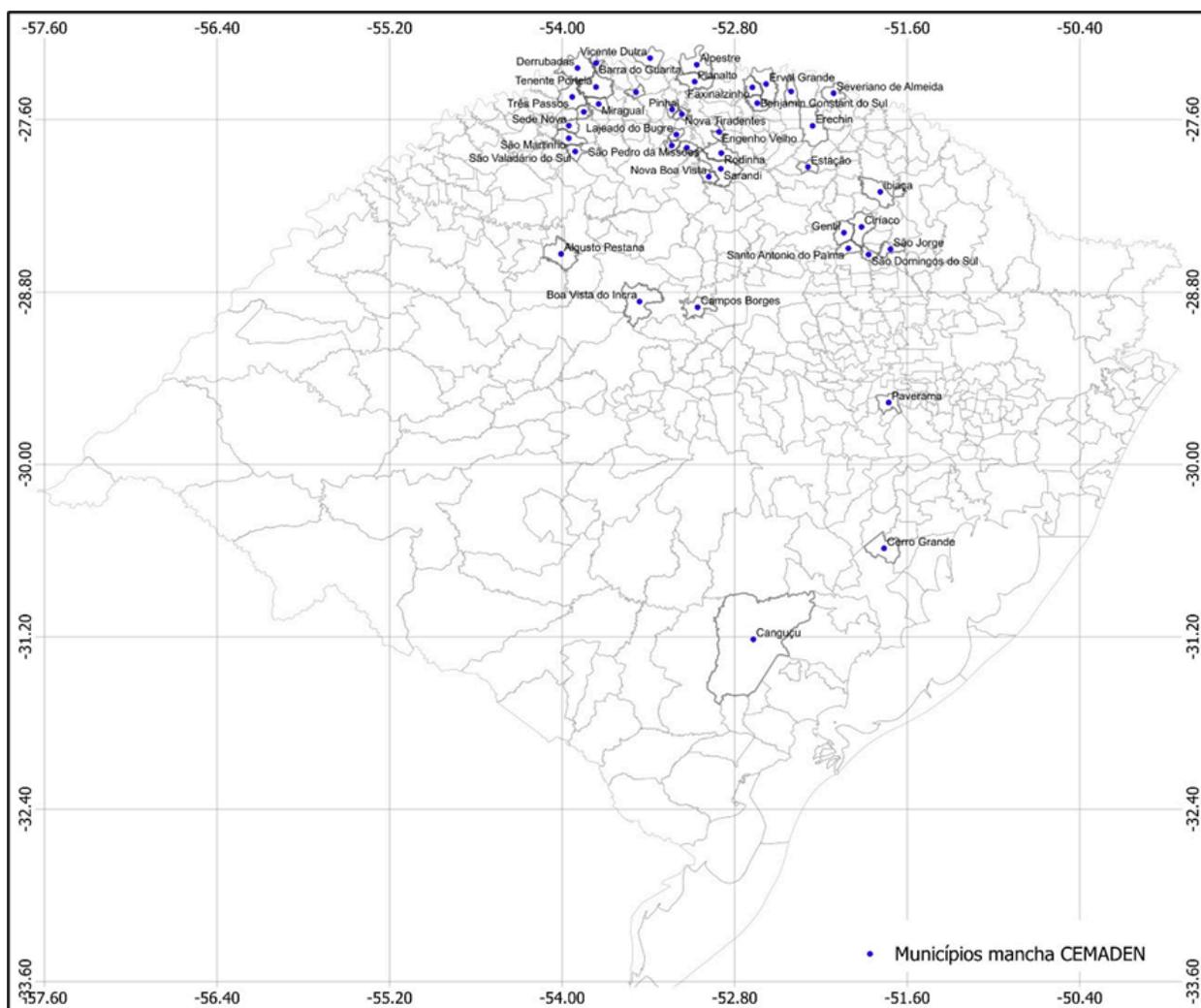


**Figura 1.** Medições dos níveis dos rios Jacuí, Taquari, Caí e Sinos nas estações fluviométricas de Rio Pardo (85900000), Muçum (86510000), Barca do Caí (87170000) e São Leopoldo (87382000) entre os dias 24 de abril e 31 de maio de 2024.

As manchas de inundações foram geradas através de simulações computacionais, realizadas com o modelo hidrodinâmico HEC-RAS 2D versão 6.5 e com o modelo normalizado de terrenos HAND. A metodologia consistiu em mapear a extensão da inundação através de duas técnicas: modelagem hidrodinâmica para os rios principais de cada sub-bacia hidrográfica, utilizando as vazões máximas previstas pelo modelo hidrológico LisFlood, disponibilizado pelo sistema Glofas, como dado de entrada para simular o pico do evento de inundação, considerando a cota máxima medida nas estações fluviométrica em cada bacia; e mapeamento da extensão da inundação através do Modelo HAND, que utiliza a altura do modelo de terreno a partir da drenagem mais próxima para mapear a extensão da inundação com base nas cotas do rio, considerando a altura do pico da cheia observada na estação fluviométrica mais próxima da área mapeada. A mancha de inundação de cada bacia mapeada foi composta pelo mapeamento da inundação do modelo hidrodinâmico para a parte mais a jusante dos rios principais acoplado ao mapeamento da inundação do modelo HAND para a parte mais a montante dos rios principais e drenagens menores. A validação da extensão das manchas de inundação geradas através de simulações computacionais foi realizada através de comparação com as imagens dos Satélites Planet, obtidas no dia 06 de maio e utilizadas para validação das áreas que atingiram o pico de inundação entre os dias 05 e 06 de maio, principalmente na região do Delta do Guaíba e em regiões onde haviam marcas de lama deixadas pela enxurrada, como na bacia do Rio Taquari, Pardo e Jacuí e imagens obtidas nos dias 09, 14 e 15 de maio, utilizadas para validar o mapeamentos nas áreas ao sul da Laguna dos Patos, como para os municípios de Arambaré, São Lourenço, Pelotas e Rio Grande. Os dados utilizados para o mapeamento foram:

- (i) Modelo Digital de Terreno COPDEM 30m;
- (ii) Dados de cota e vazão das estações telemétricas da ANA;
- (iii) Vazões máximas estimadas através do modelo hidrológico LisFlood disponibilizado pelo sistema Glofas. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cems-glofas-forecast>
- (iv) Imagens com resolução espacial de 3 metros dos satélites Planet obtidas nos dias 06, 09, 14 e 15 de maio de 2024.

O Cemaden contribuiu com o mapeamento de 41 municípios afetados pelas inundações através de modelagem hidrodinâmica e HAND onde não haviam imagens disponíveis para avaliação visual da extensão da inundação, localizados nas bacias dos rios Alto Jacuí, Taquari; Delta do Guaíba, Laguna dos Patos, Rio Camaquã e parte Noroeste do Rio Uruguai, incluindo as sub-Bacias dos rios Ijuí, Apuaé e Inhandava (Figura 8).



**Figura 2** - Localização dos 41 municípios com inundação mapeada pelo CEMADEN

Mapeamento dos municípios entregues pelo CEMADEN:

- Quinta-feira, dia 13 de junho: PAVERAMA, SÃO DOMINGOS DO SUL, SÃO JORGE, SANTO ANTÔNIO DO PALMA, GENTIL E CIRIACO.
- Sexta-feira, dia 14 de junho: CAMPOS BORGES, BOA VISTA DO INCRA, CANGUÇU E CERRO GRANDE DO SUL.
- Domingo, dia 16 de junho: ALPESTRE, AUGUSTO PESTANA, BARRA DO GUARITA, BARRA DO RIO AZUL, BENJAMIN CONSTANT DO SUL, BOM PROGRESSO, DERRUBADAS, ENGENHO VELHO, ERECHIM, ERVAL GRANDE, ESTAÇÃO, FAXINALZINHO, IBIÇÁ, LAJEADO DO BUGRE, MIRAGUAÍ, NOVA BOA VISTA, NOVO TIRADENTES, PINHAL, PLANALTO, RONDINHA, SÃO JOSÉ DAS MISSÕES, SÃO MARTINHO, SÃO PEDRO DAS

MISSÕES, SÃO VALÉRIO DO SUL, SARANDI, SEDE NOVA, SEVERIANO DE ALMEIDA, TAQUARUÇU DO SUL, TENENTE PORTELA, TRÊS PASSOS e VICENTE DUTRA.

Ressalta-se que para mapear as áreas inundadas, a metodologia considerou toda a bacia hidrográfica, sendo assim o mapeamento de inundação do CEMADEN inclui um total de 451 municípios localizados nas bacias dos rios Jacuí, Taquari; Caí, Sinos, Pardo e Gravataí, Delta do Guaíba, Laguna dos Patos, Rio Camaquã e a parte Noroeste do Rio Uruguai, incluindo as sub-Bacias dos rios Ijuí, Apuaé e Inhandava.

## Anexo - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

**Autores:** Alexandre de Amorim Teixeira, Geraldo José Lucatelli Doria de Araújo Júnior.

*Superintendência de Estudos Hídricos e Socioeconômicos - SHE*

*Superintendência de Operações e Eventos Críticos - SOE*

Para ajudar na delimitação da mancha de inundação foi utilizado o HAND (Height Above the Nearest Drainage) (Nobre et al, 2011), que normaliza a topografia de acordo com as alturas relativas locais ao longo da rede de drenagem. O HAND fornece uma representação espacial relativa dos ambientes hídricos, essencial para identificar áreas suscetíveis a inundações. Utilizou-se o ANADEM (Laipelt et al, 2024), um modelo digital de terreno desenvolvido para a América do Sul, que corrige vieses de vegetação presentes no COPDEM (GLO-30) utilizando técnicas de aprendizado de máquina. O ANADEM possui resolução espacial de 30 metros. Para a geração da drenagem sintética utilizada no HAND, aplicou-se o método Topographic Position-based Stream definition (TPS) (Barbedo et al, 2022), que aborda a variabilidade espacial da densidade de drenagem em redes de fluxo, com parâmetros limiars de 1000 e 5000 pixels e um valor de -7, processados no software TerraHidro (INPE, 2024). O raster resultante do HAND foi convertido para dados vetoriais por meio de curvas de nível com equidistância de 1 metro. Essa abordagem otimizou a modelagem dos fluxos de drenagem e a compreensão da planície de inundação. Os dados geoespaciais estão disponíveis no portal de metadados geoespaciais da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2024).

### Referências Bibliográficas:

LAIPELT, Leonardo et al. ANADEM: A Digital Terrain Model for South America. *Remote Sensing*, v. 16, n. 2321, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/remotesensing>. Acesso em: 25 jun. 2024.

NOBRE, Antonio Donato et al. Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology*, v. 404, p. 13-29, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169411002599>. Acesso em: 25 jun. 2024.

BARBEDO, Rafael; SIQUEIRA, Vinícius; COLLISCHONN, Walter. Topographic Position-based Stream definition (TPS): A simple method to address spatial variability of drainage density in

stream networks. Hydrological Sciences Journal, v. 67, n. 8, p. 858-869, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626667.2022.2047190>. Acesso em: 25 jun. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). TerraHidro. Disponível em: <https://www.dpi.inpe.br/terrahidro/doku.php>. Acesso em: 25 jun. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). ANADEM – Modelo Digital de Terreno das Bacias Hidrográficas do RS (Resolução Espacial de 30 metros). Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/06eb254d-e45a-4c2b-9226-8e30d6afaa0d>. Acesso em: 25 jun. 2024.

## Anexo - Mapeamento das Feições de Movimentos de Massa - CEMADEN

O mapeamento das feições relacionadas aos movimentos gravitacionais de massa foi realizado pela equipe de Geodinâmica do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais – Cemaden (Processo SEI 01242.000195/2024-93). A versão atual do mapeamento abrange 50 municípios já mapeados pelo Cemaden (Tabela 1). Outros 81 municípios estão em fase de mapeamento com previsão de entrega até 19 de julho de 2024.

Tabela 1: Municípios com mapeamento de movimentos de massa pelo Cemaden na versão atual da mancha.

<b>AltoFeliz</b>	<b>Estrela</b>	<b>Marata</b>	<b>Progresso</b>	<b>Sobradinho</b>
<b>Alvorada</b>	<b>Feliz</b>	<b>MarquesDeSouza</b>	<b>Putinga</b>	<b>Taquara</b>
<b>ArroioDoMeio</b>	<b>Gravatá</b>	<b>MonteAlegreDosCarneiros</b>	<b>Riozinho</b>	<b>Teutônia</b>
<b>Barão</b>	<b>Igrejinha</b>	<b>Mucum</b>	<b>RocaSales</b>	<b>Travesseiro</b>
<b>BentoGoncalves</b>	<b>Imigrantes</b>	<b>NovaHartz</b>	<b>Rolante</b>	<b>TresCoroas</b>
<b>BomPrincipio</b>	<b>Ipe</b>	<b>NovaPrata</b>	<b>SantaCruzDoSul</b>	<b>Tupandi</b>
<b>CanudosDoVale</b>	<b>Ivoti</b>	<b>NovoCabrais</b>	<b>SaoJoseDoHortencio</b>	<b>UniaoDaSerra</b>
<b>Colinas</b>	<b>Lagoao</b>	<b>Paverama</b>	<b>SaoMartinhoDaSerra</b>	<b>Vacaria</b>
<b>DoutorRicardo</b>	<b>Lajeado</b>	<b>PicadaCafe</b>	<b>SaoPedroDaSerra</b>	<b>VenancioAires</b>
<b>Encantado</b>	<b>Maquine</b>	<b>PocoDasAntas</b>	<b>Segredo</b>	<b>Westfalia</b>

As áreas alvo do mapeamento compreendem os municípios atingidos por processos de deslizamentos e fluxos de detritos na região centro-nordeste do Estado do Rio Grande do Sul conforme indicado na Figura 1.

Os movimentos gravitacionais de massa foram mapeados por interpretação visual, através de vetorização interativa, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, em cenas do sensor ótico imageador PlanetScope (resolução de 3,125m), dos dias 06, 07, 08 de maio de 2024 e Sentinel-2 (resolução de 10m), do dia 06 de maio de 2024. As feições mapeadas correspondem, portanto, àquelas deflagradas pelo primeiro e mais intenso evento de chuva. As cenas do satélite PlanetScope foram acessadas através do plugin no SIG Quantum GIS, disponibilizadas pela Plataforma Brasil Mais (Rede MAIS/MJSP, inclui material © 2023 Planet Labs Inc. Todos os direitos reservados). O resultado final é compatível com a escala 1:5.000.

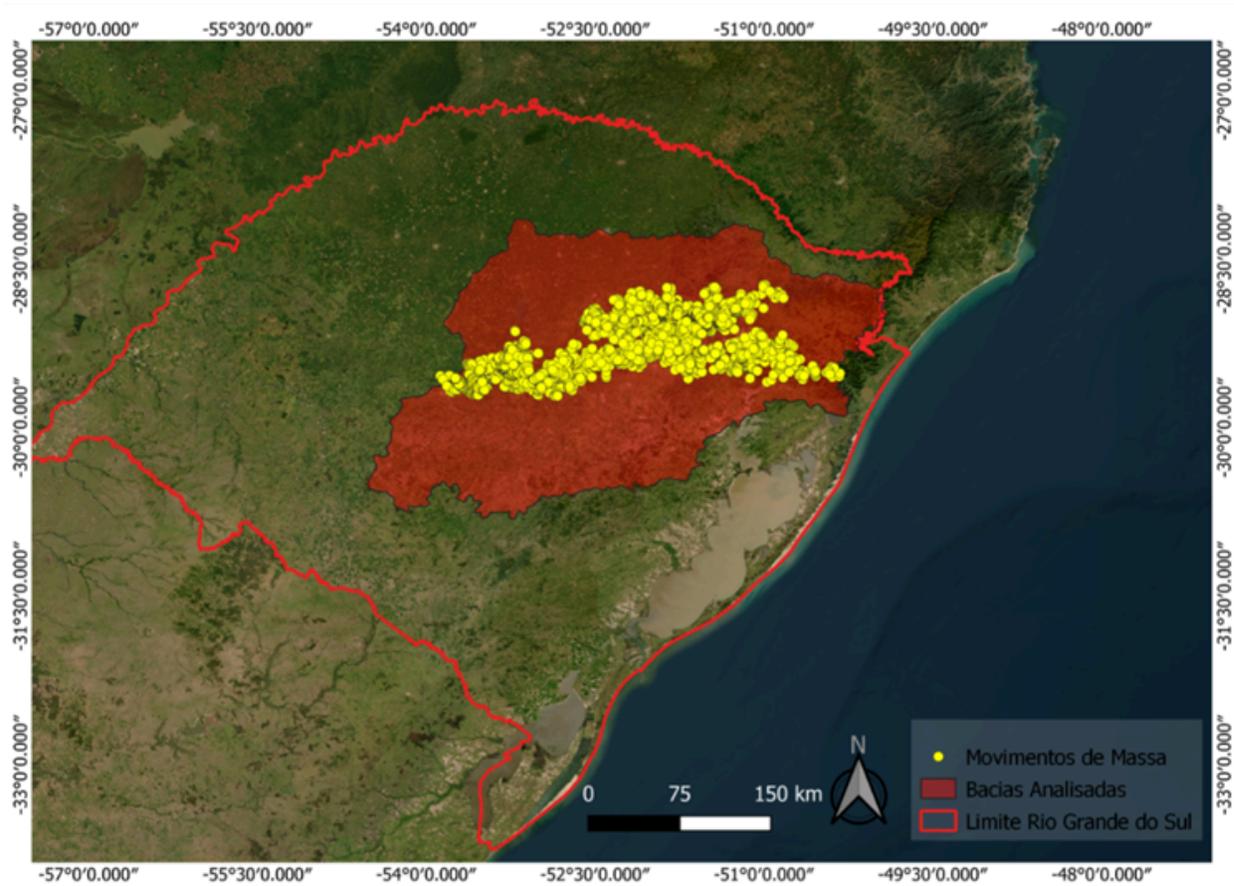


Figura 1. Áreas afetadas por movimentos de massa.

Foram mapeadas as áreas de ruptura, transporte e deposição dos movimentos gravitacionais de massa visíveis nas imagens a partir de chaves de interpretação como a cor, forma e padrões das feições, com o apoio de Modelo Digital de Terreno (NASADEM, SRTM). Para certificar-se que se tratavam de feições deflagradas no evento do início de maio, as imagens foram comparadas com imagens anteriores do Google Earth, ESRI e PlanetScope entre 18 e 21 de abril de 2024, permitindo uma análise de dinâmica multitemporal e detecção de mudanças. Por se tratar de um mapeamento realizado manualmente, houve dupla checagem em todos os municípios mapeados a fim de mitigar as variações do mapeamento decorrentes da experiência, interpretação e discricionariedade dos mapeadores.

As feições de movimentos gravitacionais de massa passíveis de mapeamento correspondem a deslizamentos de médio e grande porte, com distintas geometrias, dimensões e espessuras do solo, destacando-se, como mais frequentes, os deslizamentos planares rasos e fluxos de detritos. Os polígonos mapeados podem conter, portanto, um único processo de deslizamento ou múltiplos processos coalescentes ou que desenvolveram um fluxo de detritos a jusante (exemplos na Figura 2).

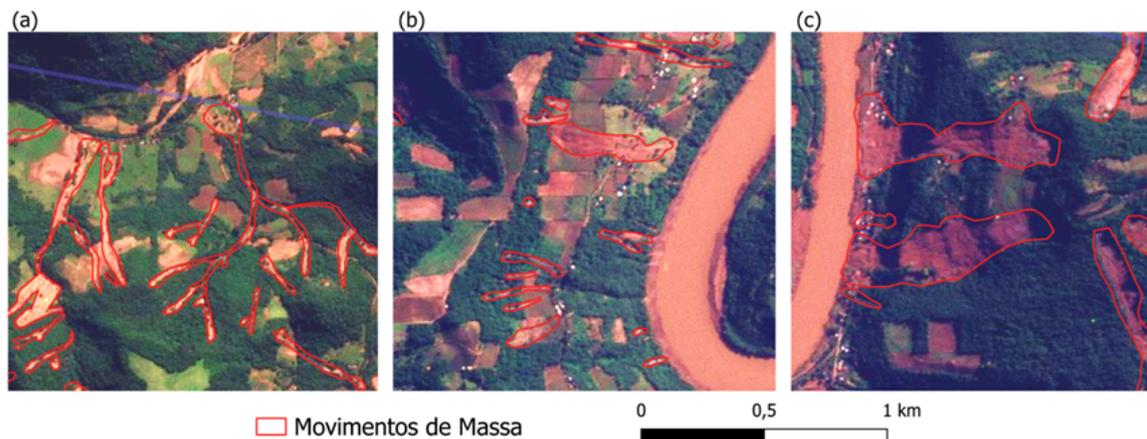


Figura 2. Exemplos de feições de movimentos de massa mapeadas em imagens PlanetScope. (a) Deslizamentos múltiplos que se converteram em fluxos de detritos a jusante; (b) Deslizamentos planares de diferentes magnitudes; (c) deslizamentos planares de grande magnitude com deposição junto à calha fluvial.

Devido às restrições impostas pela resolução das imagens utilizadas, as menores feições de deslizamento identificadas possuem área de 500 a 2000m<sup>2</sup>. Sabe-se, com base em estudos sobre as propriedades estatísticas dos deslizamentos relacionados a eventos de chuva em outras regiões (Stabile & Colângelo, 2024), que parte dos deslizamentos pode ter áreas menores e, portanto, há restrição do método utilizado para a identificação de pequenos deslizamentos, especialmente aqueles em taludes de áreas urbanas. Além disso, processos lentos, como rastejo e trincas de deslizamentos rotacionais em atividade, não fazem parte do escopo por não serem visíveis a partir das imagens. Nas áreas sombreadas nas imagens PlanetScope foram utilizadas as cenas do satélite Sentinel-2. Nestes casos as restrições quanto às feições visíveis são maiores devido à resolução espacial das imagens. A sobreposição das feições observadas com áreas inundadas, a presença de depósitos de sedimentos e lama formados por extensas áreas adjacentes às encostas e a presença frequente de glebas com solo exposto também constituíram fonte de incertezas na delimitação das feições em determinadas áreas.

É importante ressaltar, ainda, que o método visa mapear a expressão visível dos movimentos gravitacionais de massa, ou seja, desde as zonas de ruptura até a deposição dos sedimentos. O mapeamento não se propõe, assim, a realizar uma análise da trajetória dos movimentos gravitacionais de massa ou inferir as zonas de atingimento invisibilizadas pela vegetação ou pela resolução das imagens dos satélites. Para atenuar este efeito, foi acrescentado um buffer no entorno das feições de movimentos de massa.

Para a confirmação do mapeamento, bem como para análises mais detalhadas que envolvam pequenos movimentos gravitacionais de massa (ex. taludes de áreas urbanas) ou processos ativos sem superfícies de rupturas já definidas (ex. processos de rastejo com trincas no terreno) são imprescindíveis o uso de imagens de satélite de maior resolução e o mapeamento de campo.

## **REFERÊNCIAS**

PlanetScopeImages: <https://developers.planet.com/docs/data/planet-scope/>

Environmental controls on landslide size distribution in the Paraitinga River basin, SE Brazil. RA Stabile, AC Colângelo. *Landslides* 21 (2), 371-378, 2024. 2024.