

Dados Geoeletricos para Complementação de Modelo Geológico: Estudo de Caso na BR – 386/RS

Murilo Cesar Vieira Perrella

Geólogo, SHG Geologia, Engenharia e Meio Ambiente, São Paulo, Brasil, murilo@shggeologia.com.br

Thayanne Barbosa Teixeira

Geóloga, SHG Geologia, Engenharia e Meio Ambiente, São Paulo, Brasil, thayanne@shggeologia.com.br

Adriano Marchioretto, Dr.

Geofísico, Alta Resolução Geologia e Geofísica, São Paulo, Brasil, adriano@altaresolucao.com.br

Cleber de Freitas Floriano, MSc.

Engenheiro Civil, SF Engenharia Diferenciada, Porto Alegre, Brasil, cleber@souzafloriano.com

João Claudio Silva Viduedo

Geólogo, Motiva SA / CCR Rodovias, Brasil, joao.viduedo@motiva.com.br

RESUMO: Este trabalho apresenta os resultados obtidos com utilização de métodos geoeletricos de forma a complementar modelos geológicos, para rápida tomada de decisão. Os levantamentos foram realizados na BR-386, no trecho do km 288+500, pista norte, no município de São José do Herval, localizado no estado do Rio Grande do Sul, em região onde ocorreram diversos sinistros no período chuvoso em abril e maio de 2024. Em função da necessidade de dados rápidos visto a dificuldade de acesso a métodos de investigação direta, como sondagens, optou-se pela utilização de métodos geoeletricos para obtenção de respostas rápidas. A eletroresistividade, método não destrutivo, foi utilizada para identificar zonas saturadas, presença de solos transportados, presença de estruturas horizontais e verticais e topo rochoso, feições geológicas que não puderam ser identificadas em mapeamento de campo. A obtenção destes dados permitiu a resposta rápida em campo quanto a identificação dos aspectos geológicos citados que pudessem tanto impactar na operação da rodovia, quanto na solução emergencial a ser adotada, aumentando a assertividade dos modelos e entendimento dos fenômenos geológicos locais, aumentando inclusive, a assertividade na localização de investigações diretas adicionais.

PALAVRAS-CHAVE: Métodos geoeletricos; eletroresistividade; modelo geológico.

ABSTRACT: This paper presents the results obtained using geoelectrical methods to complement geological models for rapid decision-making. The surveys were conducted on BR-386, at km 288+500, northbound lane, in the municipality of São José do Herval, located in the state of Rio Grande do Sul, in a region where several accidents occurred during the rainy season in April and May 2024. Due to the need for rapid data collection and the difficulty in accessing direct investigation methods, such as drilling, geoelectrical methods were used to obtain rapid responses. Electrical resistivity, a non-destructive method, was used to identify saturated zones, the presence of transported soils, the presence of horizontal and vertical structures, and rocky tops—geological features that could not be identified through field mapping. Obtaining this data allowed for a rapid response in the field regarding the identification of the geological aspects mentioned that could impact both the operation of the highway and the emergency solution to be adopted, increasing the assertiveness of the models and understanding of local geological phenomena, even increasing the assertiveness in locating additional direct investigations.

KEYWORDS: Geoelectrical methods; electrical resistivity; geological model.



1 INTRODUÇÃO

As rodovias brasileiras desempenham papel estratégico na integração regional, no escoamento da produção e na mobilidade populacional (Policarpo, 2024). No entanto, muitos trechos atravessam terrenos geologicamente instáveis e com maior suscetibilidade à ação de eventos climáticos extremos, como as chuvas intensas que acometeram o estado do Rio Grande do Sul entre abril e maio de 2024. Nessa ocasião, diversos sinistros, como escorregamentos de massa e tombamento de blocos rochosos, afetaram a BR-386, notadamente no trecho entre as cidades de São José do Herval a Marques de Souza. Neste trecho, ocorreram diversos sinistros, sendo que, em 11 deles, foi necessário bloqueio total ou parcial da pista.

A BR-386 integra o corredor logístico que conecta o interior do estado à Região Metropolitana de Porto Alegre, sendo, portanto, uma via de alta relevância econômica e social.

Em cenários emergenciais, a identificação rápida de feições geológicas e estruturas subsuperficiais é fundamental para embasar ações corretivas e garantir a segurança da operação rodoviária. Embora métodos diretos, como sondagens, sejam usualmente empregados, sua aplicação é limitada por tempo, custo e dificuldade de acesso em áreas de risco imediato. Nesse contexto, métodos geofísicos, como a eletrorresistividade, têm se consolidado como alternativas eficazes e de rápida resposta para a investigação do subsolo em ambiente de instabilidade geotécnica.

Este artigo apresenta os resultados da aplicação do método de eletrorresistividade na complementação do modelo geológico de um segmento crítico da BR-386/RS, próximo ao km288+500, pista norte, onde foi registrado o tombamento de blocos de basalto. O objetivo é demonstrar como os dados geoeletricos possibilitaram, de maneira rápida, a identificação de zonas saturadas, estruturas geológicas internas e contatos litológicos, contribuindo para o entendimento dos processos atuantes e para a definição de medidas de engenharia, tanto emergenciais quanto soluções definitivas, com grau de assertividade adequado ao gerenciamento do risco.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está situada no município de São José do Herval, no estado do Rio Grande do Sul, ao longo do trecho da rodovia BR-386, em região em que ocorreram diversos sinistros durante as chuvas de maio de 2024 (Figura 1). O município integra a região nordeste do estado e encontra-se inserido em um contexto de relevo montanhoso, com encostas íngremes, vales profundos e altitudes variando entre 400 e 680 metros (São José do Herval, 2025).

A BR-386 é uma rodovia federal de importância estratégica para o escoamento da produção agroindustrial da região, conectando o interior do estado à Região Metropolitana de Porto Alegre. O segmento que atravessa São José do Herval é marcado por forte declividade do terreno, curvas acentuadas e cortes rodoviários executados em rochas vulcânicas.

A paisagem predominante é composta por áreas de vegetação secundária, pastagens e pequenas propriedades rurais, sendo o uso do solo majoritariamente agrícola. O clima é do tipo subtropical úmido, com precipitações bem distribuídas ao longo do ano e médias anuais em torno de 1600 mm (Rio Grande do Sul, 2025).

O acesso à área de estudo pode ser dificultado pela topografia acidentada, presença de vegetação densa e pela limitação de áreas seguras para mobilização de equipamentos. Esse conjunto de fatores reforça a importância de se utilizar técnicas de investigação indireta, capazes de fornecer dados em tempo hábil e com interferência mínima no terreno.



Figura 1. Espacialização de parte dos sinistros ocorridos na BR 386, entre as cidades de São José do Herval e Pouso Novo, no Estado do Rio Grande do Sul (fonte: adaptado de Google Earth – Imagens CCR Rodovias/Motiva)

Dentre os diversos sinistros ocorridos, neste trecho, indicado na Figura 1, em 11 casos ocorreu interdição parcial ou total da pista, com riscos de acesso inclusive para posicionamento de equipamentos de sondagem, bem como acessos de equipamentos para recuperação das áreas. Especificamente no Km288+500, pista norte, em região de escarpas, ocorreu tombamento de blocos, com interdição parcial de pista.

2.1 Geologia

Na região do local de estudo, afloram rochas da Formação Serra Geral, caracterizada por derrames e intrusões ígneas (Meffi *et al.*, 1988). Com espessura máxima de 1.720 metros no depocentro da bacia, essa formação se concentra na região centro-sul do Brasil e se estende ao longo das fronteiras com Paraguai, Uruguai e Argentina. Milner *et al.* (1995) descrevem o magmatismo dessa formação como bimodal, composto principalmente por basaltos e andesitos basálticos de afiliação toleítica, em contraste com os riolitos e riodacitos encontrados nas regiões serranas do Rio Grande do Sul, bem como em partes de Santa Catarina, Paraná e nas fronteiras com o Uruguai.

Especificamente na região do km 288+500 ocorrem a Fácies Caxias e a Fácies Gramado (CPRM, 2006). Essas fácies apresentam variações texturais, composicionais e estruturais distintas entre si. Assim, de acordo com Wildner (2004) e CPRM (2006), afloram na área rochas da Fácies Caxias e, subordinadamente, rochas da Fácies Gramado:

Fácies Caxias: Se encontra com áreas de ocorrência típica entre as cidades de Garibaldi e Guaporé, também na região ao longo da Estrada do Sol, que abrange Caxias do Sul, Tainhas e Cambará do Sul. Os derrames dessa fácies podem atingir cerca de 80 metros de espessura. Na base, apresentam um contato com disjunção tabular incipiente e irregular, uma porção central maciça com disjunção colunar difusa, e uma porção de topo com disjunção tabular bem desenvolvida, compondo um pacote de cerca de 5 a 8 metros.

Na área tipo, Estrada do Sol, as lavas tipo Caxias assentam diretamente sobre os basaltos tipo Gramado, com um contato marcado por importante zona de erosão. Essa erosão gera espessos depósitos de sedimentos vulcanogênicos e um paleorrelevo notável, com canais e platôs marcantes no relevo. Na fácies Caxias são comuns estruturas de fluxo laminar, dobras de fluxo e autobrechas, enquanto no topo ocorrem horizontes vitrofíricos com fraturas perlíticas e textura laminar.

Os derrames têm composição intermediária a ácida (riodacítica), são mesocráticos, de cor cinza-claro a esbranquiçado, e granulação fina a microfanerítica, com centros maciços e horizontes superiores com disjunção tabular regular bem desenvolvida, além de raras vesículas preenchidas por sílica. Uma característica desta



fácies é a presença de pequenos aglomerados de cristais, compostos principalmente por plagioclásios bem formados, variando de 0,2 a 0,5mm, imersos em uma matriz vítrea.

Fácies Gramado: Refere-se a um conjunto de cerca de 16 derrames vulcânicos e espessura máxima de 350 metros, aflorando principalmente nas bordas sul e sudeste da bacia do Paraná. A seção-tipo dessa fácies pode ser observada ao longo das escarpas da Serra do Rio Grande do Sul, começando em Novo Hamburgo e subindo em direção a Nova Petrópolis, entre Estrela e São José do Herval, e entre Igrejinha e as proximidades de Gramado. Nos primeiros derrames, houve contato com os sedimentos inconsolidados da formação Botucatu, resultando em rochas híbridas. Essas rochas variam desde horizontes de autobrechas na base, passando por horizontes peperíticos ou com blocos de arenito em matriz vulcânica, até diques de areia em derrames de lava sobre horizontes sedimentares.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho seguiu uma abordagem integrada entre atividades de campo e análise técnica, com o objetivo de compreender os condicionantes geológicos e geotécnicos associados à instabilidade observada na região. As etapas desenvolvidas estão descritas a seguir:

a) Levantamento de informações preliminares:

Inicialmente, foram analisadas informações fornecidas por equipes de emergência da concessionária responsável (ViaSul), incluindo registros fotográficos, relatórios técnicos iniciais e coordenadas do ponto afetado. Esses dados subsidiaram o planejamento das atividades de campo, com foco na identificação de indícios de instabilidade e definição de áreas prioritárias para investigação.

b) Inspeção de campo e definição inicial de métodos e locais de investigação:

Foi realizada uma vistoria técnica in loco com o objetivo de reconhecer feições morfológicas, indícios de instabilidade (como trincas, blocos isolados e alteração do maciço rochoso) e delimitar a área de interesse. Com base nessa inspeção, foram definidos os pontos de execução dos perfis geofísicos, priorizando regiões com histórico de instabilidade ou com evidências visuais relevantes.

c) Mapeamento geológico e estrutural do talude:

Foi conduzido o mapeamento estrutural do talude rochoso adjacente ao local do acidente (talude pista sul). Essa atividade teve como objetivo identificar e caracterizar descontinuidades, seus padrões de orientação e condições de preenchimento, visando compreender os principais controles estruturais do maciço.

d) Investigações geofísicas:

A investigação do subsolo foi realizada por meio do método de eletrorresistividade, utilizando arranjos do tipo dipolo-dipolo, com eletrodos espaçados 10 e 5m, com o intuito de identificar heterogeneidades internas do maciço, principais estruturas geológicas e possíveis contatos litológicos. Foram realizadas 3 linhas (L1 e L3 paralelas a rodovia, com comprimento de 235m cada e L2 – transversal a rodovia – montante – com comprimento de 235m e profundidade de investigação de 55m) - Figura 2.

e) Definição de modelo geológico local:

Os resultados obtidos permitiram a elaboração de modelo geológico inicial, com vistas ao entendimento do contexto geológico-geotécnico e corroboraram a definição das pistas de rodagem seguras.

f) Localização de investigações adicionais:

A partir dos resultados obtidos na geofísica, bem como o entendimento inicial do maciço local, foram localizadas investigações adicionais, realizadas em local seguro.

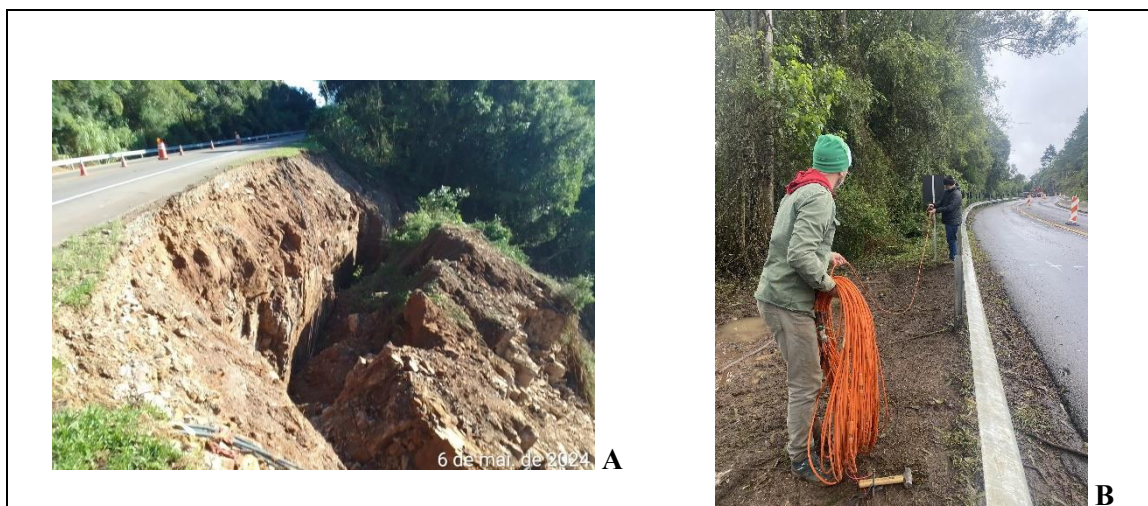


Figura 2. A) Talude rompido na pista norte do Km288+500 ; B) Levantamento geofísico em realização, em local seguro na pista sul.

4 RESULTADOS

Quanto aos resultados obtidos, destacam-se as informações possíveis de avaliação em cada etapa específica, quais sejam:

- **Inspeção inicial:** esta atividade permitiu a verificação de extensão de danos, bem como interdição na pista. Também permitiu o reconhecimento inicial do maciço rochoso, com nítida presença de descontinuidades verticais paralelas a pista, bem como o entendimento do fenômeno de tombamento de blocos, com modelo inicial consolidado (Figura 3);
- **Mapeamento geológico e estrutural:** foi possível identificar a presença de dois conjuntos principais de descontinuidades (N270/SV - paralela a rodovia e N180/SV - transversal). Notou-se espaçamento variando entre 3 a 5m para as descontinuidades paralelas (Figura 4);
- **Investigação geofísica:** as feições geoeletricas permitiram identificar estruturas horizontais, que se referem a contato rocha-solo, bem como percolação de água na estrutura SV transversal a rodovia (Figura 5). O modelo permitiu indicar, complementando as informações anteriores, a principal estrutura condutora de água no substrato, sendo que os elementos de projeto deverão considerar elementos drenantes posicionados nesta estrutura vertical.

Os dados, obtidos em diferentes etapas permitiram a evolução do conhecimento geológico frente aos objetivos específicos indicados na Tabela 1.

Tabela 1. Objetivos atingidos e desafios em cada uma das etapas emergenciais de trabalho realizadas no km 288+500, para recuperação da pista de rodagem.

| Etapas | Objetivo principal | Desafios |
|--|---|--|
| Inspeção inicial | Verificar possibilidade de rodagem Orientar limpeza Indicar áreas para atividade segura | Entendimento dos riscos caso novas chuvas Entendimento da extensão de danos no subleito |
| Mapeamento geológico e estrutural | Entendimento do modelo geológico e dos fenômenos atuantes no sinistro Avaliação das principais descontinuidades e persistência Modelo geológico inicial Indicar investigações adicionais | Entendimento quanto a posição atual do nível de água Persistência de descontinuidades verticais paralelas a pista (risco de novos tombamentos em maciço aliviado) |

Investigação geofísica

Identificação de descontinuidades
verticais
Identificações de horizontes saturados

Métodos por vezes com
interferências
Dados indiretos (requerem
conhecimento inicial do
problema ou do local ensaiado)

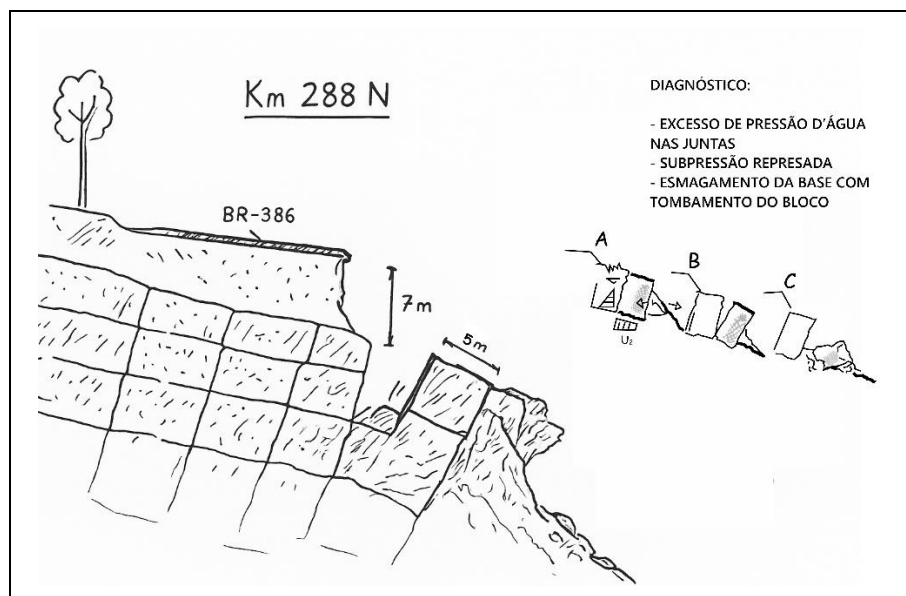


Figura 3. Modelo geológico inicial, onde são indicados os elementos estruturais iniciais do maciço rochoso, com vistas ao entendimento do fenômeno ocorrido.

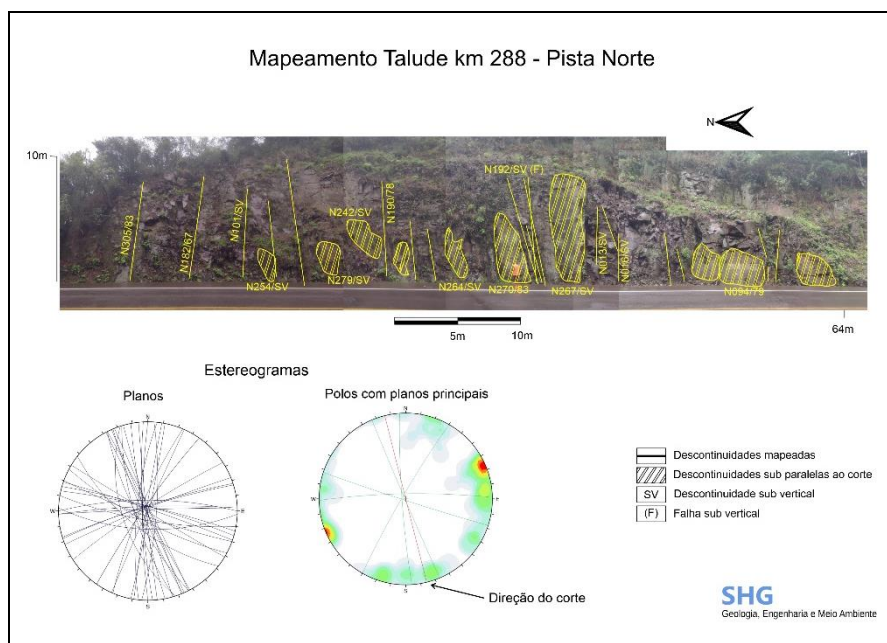


Figura 4. Mapeamento geológico e estrutural realizado no talude, na pista Norte, próximo ao local do rompimento, para identificação das principais feições estruturais e avaliação de persistência das principais superfícies verticais paralelas à pista.

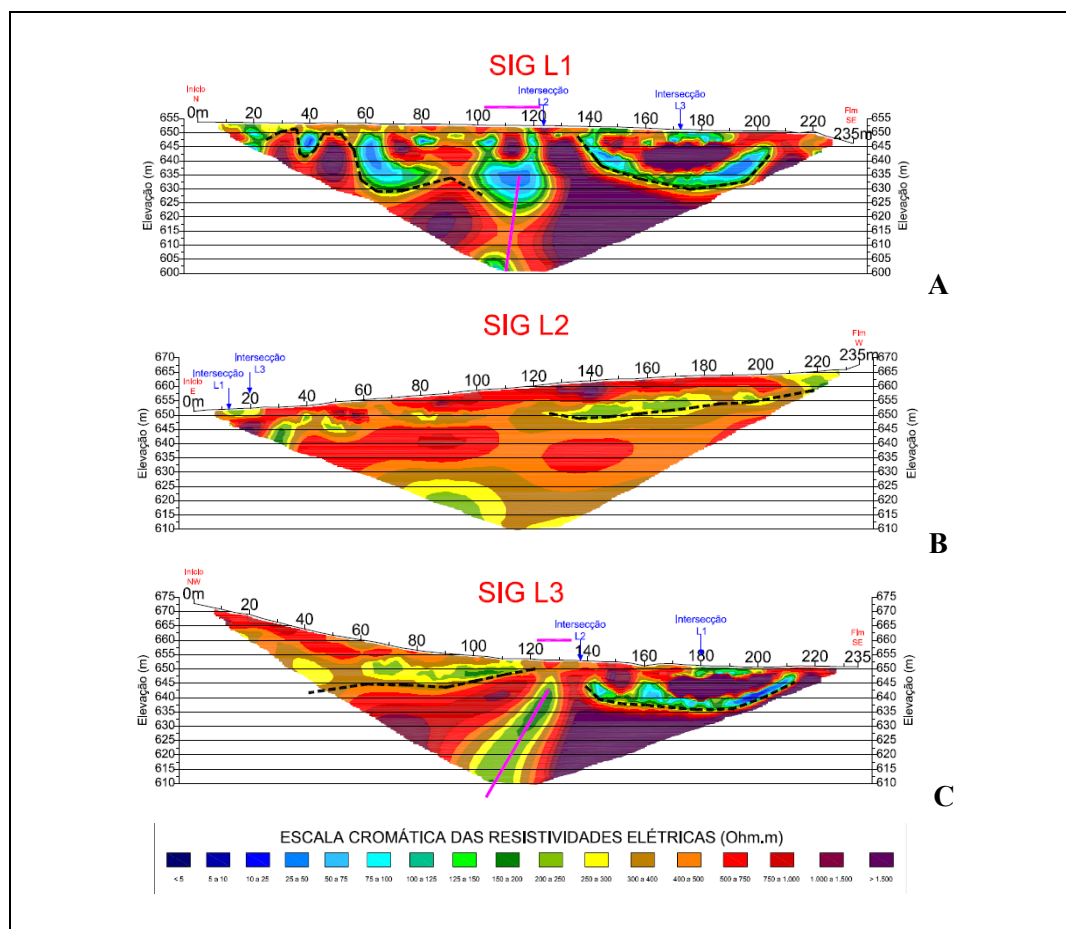


Figura 5. Modelos geolétricos obtidos para as seções - A e C (seções paralelas a rodovia); B (seção transversal a rodovia), onde foram observados horizontes verticais de percolação de água

Por fim, considerando os métodos e o sequencial de atividades desenvolvidas, o fluxograma apresentado na Figura 6 mostra um resumo das informações de subsídio de projeto obtidas durante a campanha.

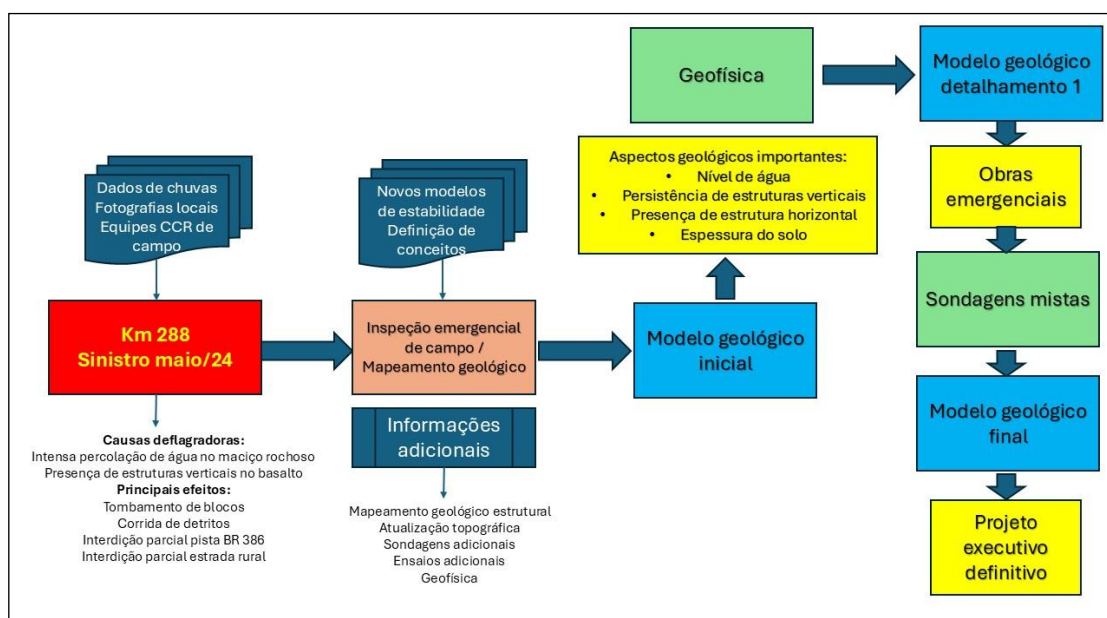


Figura 6. Fluxograma de atividades para formulação do modelo geológico local, com vistas ao subsídio de projeto de recuperação em duas etapas, tanto nas ações emergenciais quanto nas ações definitivas.



5 CONCLUSÕES

Frente ao cenário emergencial identificado durante as excepcionais chuvas ocorridas entre os meses de abril e maio de 2024, a concessionária ViaSul (Motiva / CCR Rodovias) mobilizou equipe de profissionais para apoio das equipes internas, com vistas a inspeções de segurança e elaboração de modelos geológico-geotécnicos locais que permitissem: a identificação dos fenômenos e o entendimento do modelo em cada uma das regiões afetadas. Estes modelos serviram de base, tanto para a adoção de medidas emergenciais, quanto de soluções definitivas frente ao risco de novos fenômenos de instabilidade.

O objetivo principal foi apresentar a assertividade de ferramenta de investigação indireta (geofísica) para identificação de características do substrato local, mesmo que preliminarmente, tendo como estudo de caso o rompimento da pista norte do Km288+500. Os resultados indicaram que o uso adequado da ferramenta, complementando informações iniciais de mapeamento e modelo geológico, se mostrou eficaz para entendimento preliminar de características do substrato local, permitindo a identificação de contato rocha-solo, bem como da estrutura vertical percoladora de água pelo maciço. Estas informações, associadas ao mapeamento estrutural foram fornecidas as equipes de engenharia de projeto, para adoção das medidas emergenciais, bem como do projeto definitivo de contenção.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos a Motiva / CCR Rodovias pelo apoio na realização dos trabalhos em situação emergencial frente ao cenário adverso local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. (2006) *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000*. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil.
- Meffi, L. P. *et al.* (1988) Large igneous provinces and magmatism of the Paraná Basin. *Journal of Geology*, v. 96, n. 4, p. 571-584.
- Milner, S. C; Duncan, A. R; Whittington, A. M. (1995) The Paraná-Etendeka Province: Characteristics and geochronology of silicic magmatism. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 59, n. 2, p. 1409-1420.
- Rio Grande do Sul. (2001) Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. *Diagnóstico Ambiental da Bacia do Taquari-Antas, RS: diretrizes regionais para o licenciamento ambiental das hidrelétricas*. Porto Alegre. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/g040-bh-taquari-antas>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- São José do Herval, Prefeitura de. *Aspectos geográficos*. São José do Herval: Prefeitura Municipal, [s.d.]. Disponível em: <https://www.saojosedoherval.rs.gov.br/a-cidade/aspectos-geograficos/> . Acesso em: 21 maio 2025.
- Wildner, Wison. (2004) *Estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná–Conceitos básicos e divisão faciológica*. Reunião Aberta da Comissão Brasileira de Estratigrafia, p. 62.