

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/230

Monitoramento Para Antecipação de Instabilidade de Talude

Melo, Danielle Fernanda Morais

Gerente de Projetos Geotécnicos, GeoCompany Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente Ltda, Barueri – SP, Brasil, danielle.melo@geocompany.com.br

Nakamoto, Flávio

Engenheiro Civil, GeoCompany Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente Ltda, Barueri – SP, Brasil, flavio.nakamoto@geocompany.com.br

Ino, Shin Ithi

Arquiteto, CKC Consultoria de Engenharia, São Paulo – SP, Brasil, shin@ckcbrasil.com.br

Santos, Nicolas Job Dos

Engenheiro Civil, CKC Consultoria de Engenharia, São Paulo – SP, Brasil, nicolas@ckcbrasil.com.br

Kochen, Roberto

Prof. Dr. Escola Politécnica da USP, GeoCompany Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente Ltda, Barueri – SP, Brasil, kochen@geocompany.com.br

RESUMO: Com o objetivo de antecipar possíveis movimentos de terra foram instalados sensores do tipo kantaro em um talude de elevado risco, cercado por ocupações residenciais no topo e na base. Os instrumentos foram instalados em parceria com a empresa japonesa CKC (Chuo Kaihatsu Corporation), que viabilizou a introdução da tecnologia de monitoração utilizada em taludes no país, sendo definida uma parceira para a instalação de área de risco no município de Barueri, São Paulo. A campanha de investigação instalada na área é composta por 3 sensores e um pluviômetro. Os instrumentos instalados têm a capacidade de medir rotações em duas direções perpendiculares e medir a umidade do solo, comparando com limites pré-estabelecidos e realizando a emissão de alertas automáticos quando os valores medidos ultrapassam os limites definidos a priori. O monitoramento está sendo realizado desde setembro de 2022 e neste artigo serão apresentados a composição dos instrumentos de medição, os principais resultados obtidos, como funcionou o sistema de alerta e uma análise crítica da necessidade crescente deste tipo de monitoramento.

PALAVRAS-CHAVE: Sensores kantaro, tiltímetros, monitoramento de taludes.

ABSTRACT: With the aim of anticipating possible ground movements, Kantaro-type sensors were installed on a high-risk slope surrounded by residential areas at the top and at the bottom. The instruments were installed in partnership with the Japanese company CKC, which enabled the introduction of monitoring technology used in slopes in the country, establishing a partnership for the installation of a risk area in the municipality of Barueri, São Paulo. The investigation campaign installed in the area consists of 3 sensors and a rain gauge. The installed instruments have the capacity to measure rotations in two perpendicular directions and measure soil moisture, comparing them with pre-established limits and issuing automatic alerts when the measured values exceed the predefined limits. The monitoring has been carried out since September 2022, and this article presents the composition of the measuring instruments, the main results obtained, how the alert system worked, and a critical analysis of the growing need for this type of monitoring.

KEYWORDS: Kantaro sensors, tiltmeters, slope monitoring.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o Brasil tem enfrentado recorrentes eventos de rupturas de encostas decorrentes de chuvas intensas. Este problema é especialmente preocupante em áreas densamente povoadas nas quais as habitações residenciais podem se situar em encostas sujeitas a deslizamentos e em suas proximidades.

Prevê-se um aumento na frequência de falhas em taludes devido a eventos de chuva cada vez mais frequentes e intensos considerando os resultados do relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Neste cenário, a implementação de monitoramentos de encostas é crucial para fornecer informações essenciais que subsidiam decisões emergenciais, especialmente durante períodos de crise ou alto risco em áreas com elevada densidade ocupacional.

O sistema de monitoramento desempenha um papel fundamental na detecção precoce de sinais de instabilidade na encosta, permitindo uma resposta rápida e eficaz para proteger vidas e propriedades. Ao fornecer dados em tempo real sobre condições de estabilidade do terreno, tais sistemas capacitam as autoridades a tomar medidas preventivas ou evacuações antecipadas, minimizando os danos potenciais associados a deslizamentos de terra e desmoronamentos.

Neste artigo será apresentado o sistema de monitoramento com tiltímetros tipo Kantaro e o resultado de um monitoramento piloto executado em área localizada na região metropolitana de São Paulo.

2 EQUIPAMENTO

Tiltímetros são instrumentos precisos que medem deslocamentos e rotações das encostas, possibilitando a antecipação de situações de instabilidade. No sistema proposto eles têm a capacidade de enviar alertas online em tempo real, incluindo notificações diretas através de emails e SMS para as partes interessadas. Isso fornece informações cruciais para embasar decisões emergenciais, facilitando o processo de tomada de decisões críticas diante de potenciais ameaças.

O aparelho é composto por um sensor instalado a 50cm de profundidade no solo acoplado com módulo de transmissão de dados conforme apresentado da Figura 1. A facilidade de instalação e operação é uma das grandes vantagens deste sistema.

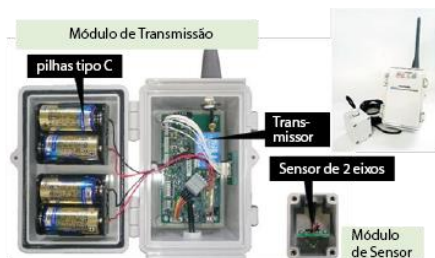


Figura 1. Sensor de movimentação do terreno.

O sistema de monitoramento é formado por uma estação base e outros instrumentos complementares, possibilitando a formação de uma rede de medidores, sendo possível analisar tendências de movimentos da encosta, conforme esquematizado na figura 2.

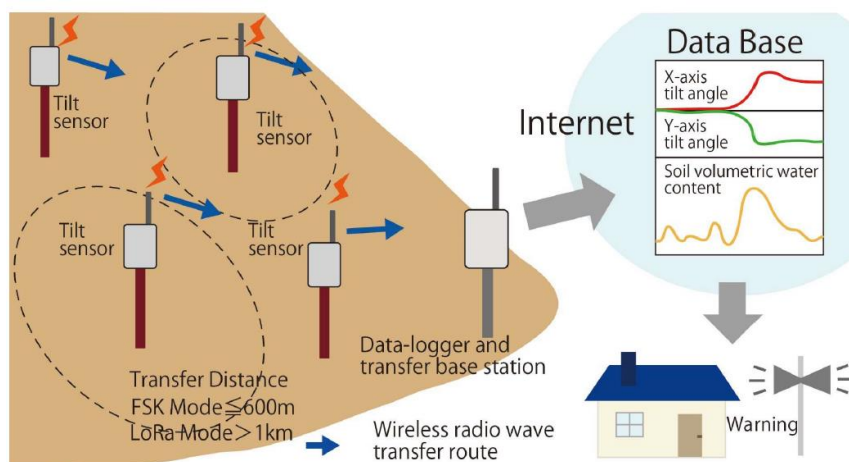


Figura 2. Conjunto de sensores para monitoramento de ruptura em talude (WANG, 2023).

A estação base é composta por um *datalogger* que recebe dados do sensor de inclinação, um pluviômetro que mede a precipitação local, um dispositivo de comunicação que conecta os dados do sensor de inclinação e do pluviômetro à rede de comunicação do telefone celular, além de um painel solar e uma bateria que fornecem energia ao registrador e ao dispositivo de comunicação e transmissão de dados. A figura 3 apresenta os elementos que compõem a estação base.

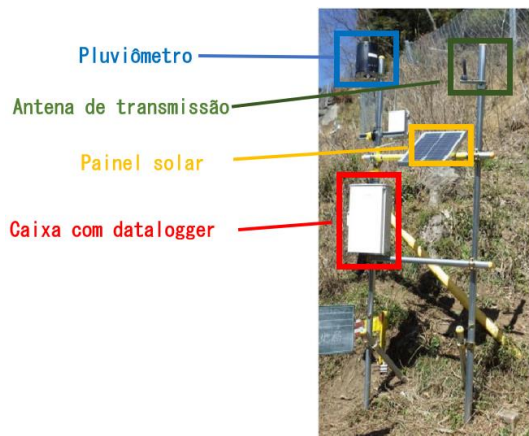


Figura 3. Estação base típica.

Os dados são transferidos do sensor de inclinação para a estação base local, onde são coletados e processados. Em seguida, esses dados são transmitidos da estação base local por meio de linhas de telefonia móvel para um servidor de monitoramento. O site de monitoramento de dados pode ser acessado por computadores e smartphones, permitindo o monitoramento em tempo real da situação local. A figura 4 apresenta o esquema.

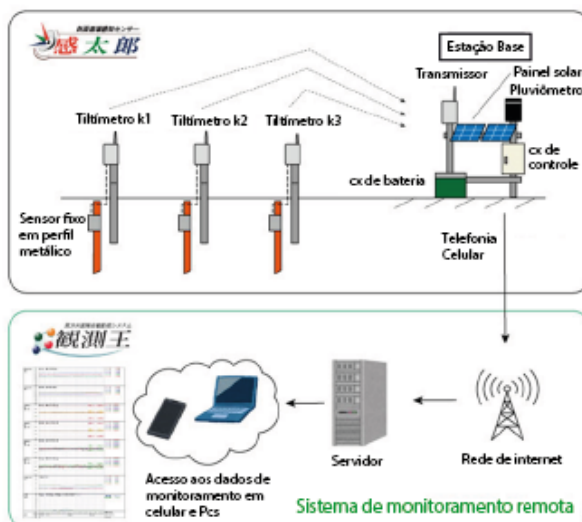


Figura 4. Esquema de funcionamento do monitoramento com sensores Kantaro.

A interface de visualização dos dados é simplificada e intuitiva, sendo possível observar as medições em tempo real separando por sensor e por tipo de informação a ser visualizada. São apresentados dados de localização dos pontos de observação, número de sensores, status do alerta e demais dados relacionados ao monitoramento. A figura 5 apresenta a página principal do sistema de monitoramento.

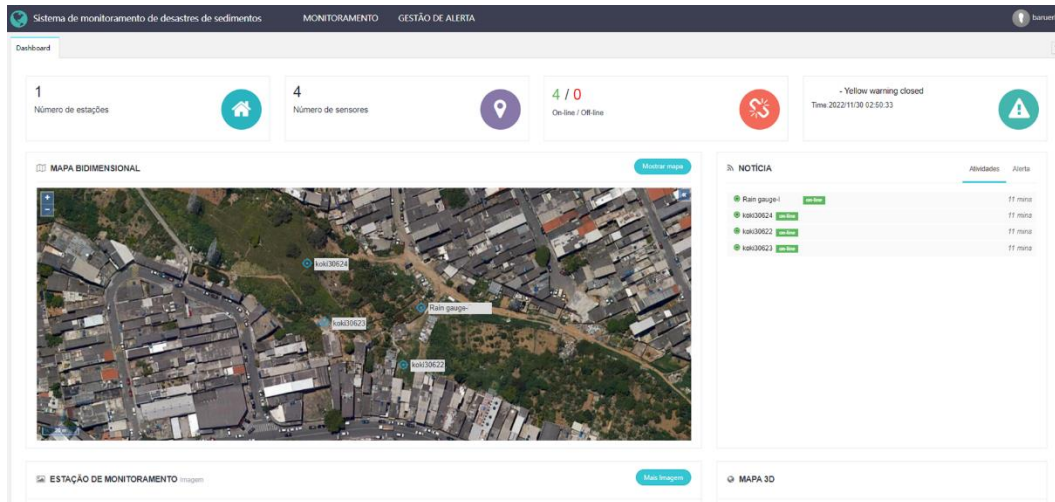


Figura 5. Interface do sistema de monitoramento que pode ser acessado por computadores e celulares.

O site de monitoramento permite que o usuário selecione livremente o tipo e a duração dos dados, que podem ser visualizados graficamente. Na figura 6 está exemplificado o resultado das medições de rotação nas direções X e Y.



Figura 6. Medições de rotação em direções ortogonais

Na figura anterior, é possível observar os limites de controle que são definidos para as seguintes variáveis “variação da inclinação por hora” e “volume de chuva durante 1 hora”. De acordo com a localidade são configurados os limites para emissão de alarme, no talude monitorado, por exemplo, os limites estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Exemplo dos limites para alarme no monitoramento.

| Nível de alarme | de Variação da inclinação por hora | Volume de chuva durante 1 hora | Medidas a tomar |
|-----------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Nível 1 | 0.05mm/5h=0.01mm/1h | 20mm | Atenção |
| Nível 2 | 0.1mm/1h | 30mm | Prepare para a evacuação |
| Nível 3 | 1mm/1h | 50mm | Evacuação |

Os valores de referência iniciais se baseiam na experiência prévia baseada em outros campos de monitoramento e nas características geológicas e geotécnicas da área. Estes valores devem ser calibrados de acordo com as características permitindo uma resposta mais assertiva em relação a escorregamentos.

3 MONITORAMENTO REALIZADO

O objetivo do monitoramento foi possibilitar a detecção antecipada de instabilidades em áreas de risco, através da medição contínua e em tempo real de dados como rotação, umidade do solo e precipitação, proporcionando medidas atualizadas e disponíveis instantaneamente para uma resposta eficaz.

A implementação dos dispositivos não apenas permitiria uma resposta mais rápida a potenciais riscos, mas também auxiliaria na adoção de medidas preventivas, reduzindo assim o impacto das rupturas nos taludes.

A aplicação do sistema de monitoramento com sensores kantaro foi realizado em talude localizado na região metropolitana de São Paulo. A região em questão tem um histórico preocupante de múltiplas rupturas nos taludes, muitas vezes desencadeadas por chuvas intensas. Devido a essa tendência, a área foi identificada e classificada como de alto risco para ocorrências de escorregamentos. Para mitigar as consequências desses eventos, propôs-se a introdução de um sistema de monitoramento e alerta. Este sistema foi composto pelos sensores kantaro, que são equipamentos pequenos e de fácil instalação, capazes de fornecer medidas precisas e em tempo real sobre a estabilidade do terreno.

O talude experimental foi monitorado no período entre 09/2022 e 12/2023 com o objetivo de testar e avaliar o funcionamento, buscando adaptar a metodologia e o algoritmo utilizados para a realidade do Brasil. O monitoramento tem como propósito obter dados relacionados à precipitação e à variação no ângulo de rotação, visando uma análise detalhada da estabilidade do terreno.

Na figura 7, está apresentado os sensores de monitoramento instalados na área, sendo 3 sensores simples e 1 estação completa com pluviômetro. A área apresenta elevada declividade com a presença de construções no topo e no pé do talude. Se trata de área periférica, sendo necessária a instalação de grades para evitar vandalismo ao equipamento de medição. Foi realizada também uma campanha de conscientização com os moradores, explicando o objetivo do sistema, buscando-se mitigar risco de depredação.



Figura 7. Sensores instalados no monitoramento piloto.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos revelaram flutuações acentuadas, com o registro de 1 a 3 ocorrências de alarme em cada sensor durante o período de monitoramento, de 15 meses. O alarme de nível 2 foi acionado entre 1 e 8 vezes, porém não houve continuação do evento que indicasse um possível colapso. Além disso, o alarme emergencial foi acionado uma vez em relação a um dos sensores, destacando a sensibilidade do sistema na detecção de situações críticas. Quando o alarme nível 3 foi observado, a defesa civil municipal foi informada e fez uma vistoria na área do talude, contudo a ocorrência não teve continuação para um escorregamento, e o nível de emergência foi reduzido. O alarme nível 2 é caracterizado como uma preparação para evacuação e o alarme nível 3 como indicação para evacuar a área.

A tabela 2 apresenta um resumo dos pontos notáveis do monitoramento.

Tabela 2. Resultado geral das medições.

| Item de medição | Sensor KOKI30622 | Sensor KOKI30623 | Sensor KOKI30624 |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Variação repentina | 3 vezes | 1 vez | 2 vezes |
| Alarme nível 1 (atenção) | 180 vezes | 133 vezes | 137 vezes |
| Alarme nível 2 (preparar evacuação) | 8 vezes | 1 vezes | 2 vezes |
| Alarme nível 3 (evacuação) | 1 vez | 0 vezes | 0 vezes |

Não foi observada uma relação direta entre a pluviometria diária e a ocorrência de movimentação nos sensores. O gráfico apresentado na figura 8 sintetiza, para o sensor no qual foram observados maior número de alarmes disparados, a indicação entre a ocorrência de alarmes nível 2 (LV2) e alarme nível 3 (LV3) com o registro pluviométrico. É importante notar que apenas o nível pluviométrico não é suficiente para caracterizar a iminência de escorregamento, podendo gerar alertas falsos, que com o tempo tiram a credibilidade de sistemas baseados apenas em pluviometria.

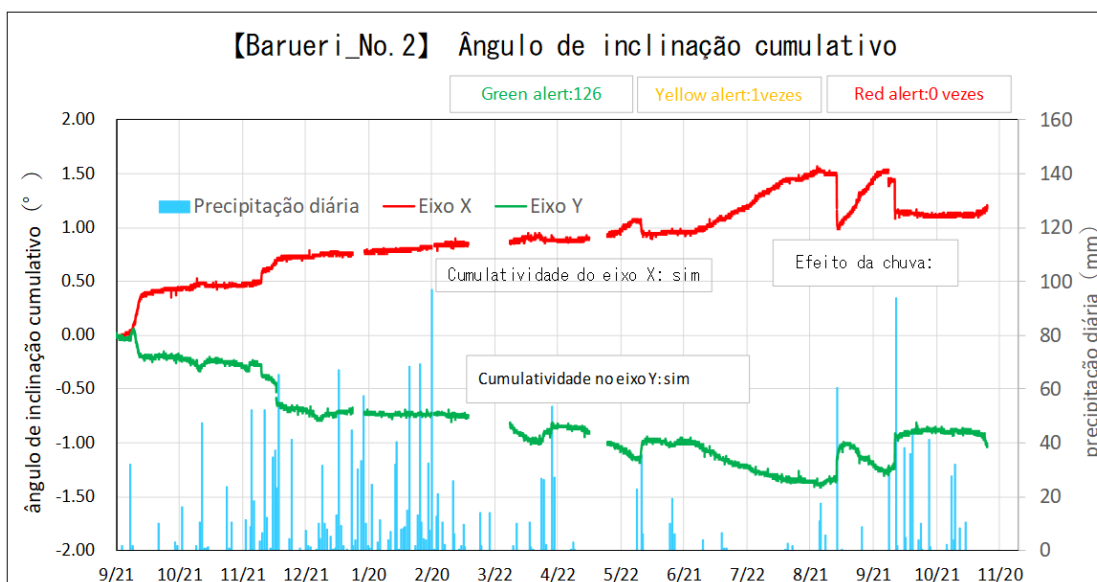


Figura 8. Resultado de um dos sensores com indicação de pluviometria.

Na figura a seguir se apresenta as medições de inclinação cumulativa em relação a precipitação diária para o sensor 1, que foi o único que disparou um alarme nível 1.

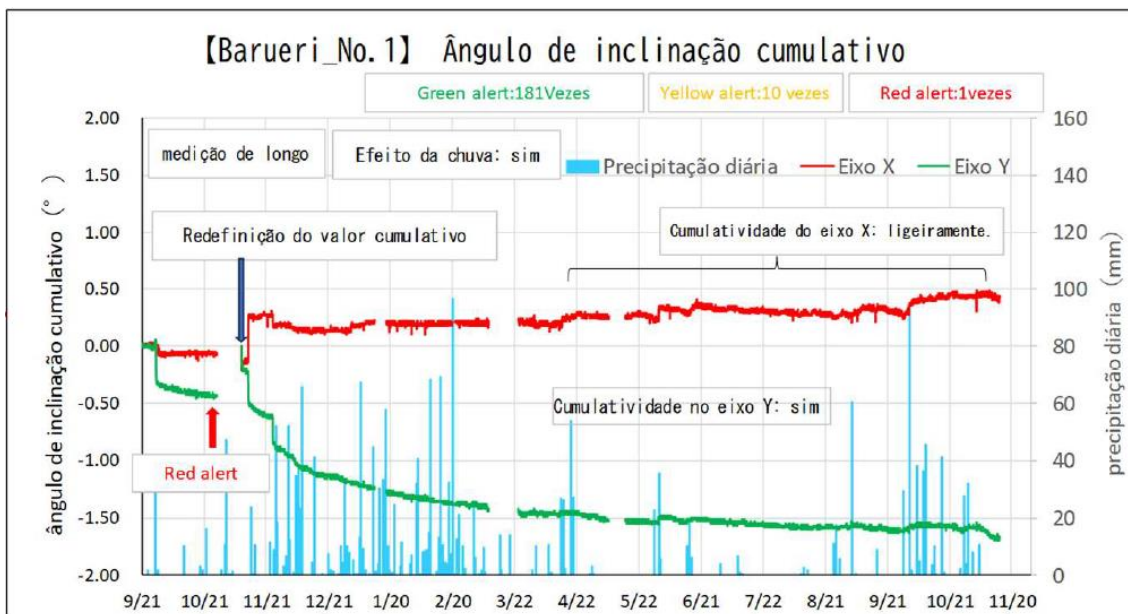


Figura 9. Resultado para o sensor 1 com indicação de pluviometria.

Em 22 de setembro, quando houve o alarme, foi realizada vistoria no local próximo ao sensor, oportunidade na qual foram observadas trincas no terreno natural, conforme indicado nas fotos apresentadas na figura 9. As marcas observadas no talude vão de acordo com as movimentações apresentadas pelo sensor nos dias anteriores.



Figura 10 – Trincas observadas próximas ao sensor em visita técnica realizada

Considerando os dados de medições e observações de campo, foi possível identificar que os limites estabelecidos foram conservadores, o que motivou uma revisão desses valores para melhor adequação às condições locais.

A obtenção de dados pluviométricos da região é fundamental para uma análise mais abrangente dos padrões climáticos e sua relação com a movimentação do solo ainda que não tenha sido observada correlação direta entre as deformações no terreno e os eventos de precipitação. Isto, em conjunto com o sensor Kantaro, permite uma avaliação precisa da iminência de escorregamentos.

A interrupção temporária das medições proporcionou um maior entendimento dos desafios que podem ser enfrentados durante o monitoramento, contribuindo para o aprimoramento contínuo do sistema.

4 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados do monitoramento realizado, diversas conclusões podem ser extraídas. Primeiramente, observou-se flutuações acentuadas entre uma e três vezes em cada sensor durante o período de monitoramento, demonstrando a sensibilidade do sistema na detecção de movimentações no terreno. Não foi observada correlação direta entre os registros de pluviometria e a ocorrência de movimentações, houveram situações de grande pluviometria sem que os sensores Kantaro tenham capturado oscilações. No sistema de monitoramento proposto, a pluviometria e os registros de movimentação são registrados simultaneamente, o que garante maior precisão e confiabilidade no sistema. Os alarmes de nível 2 (preparar para evacuação) e 3 (evacuação), foram acionados em várias ocasiões, indicando situações de alerta, porém não houve continuação dos eventos que sugerissem um possível colapso. A revisão dos limites estabelecidos para os alarmes foi necessária, visando uma melhor adequação às condições locais e uma resposta mais assertiva diante de potenciais riscos. Ademais, a flexibilidade dos níveis de alarme, que podem ser ajustados conforme necessário, proporciona uma abordagem adaptativa e eficaz para a gestão de riscos. Em suma, os resultados obtidos fornecem valiosas informações para aprimorar a eficácia do sistema de monitoramento de encostas, destacando a importância contínua do monitoramento dos deslocamentos de solo com o sensor Kantaro, e da adaptação às condições dinâmicas do ambiente.

AGRADECIMENTOS

O monitoramento foi realizado através de parceria entre as empresas GeoCompany Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente Ltda, CKC Consultoria de Engenharia e Aly Engenheiros Associados, através de parceria com a Prefeitura Municipal e da Defesa Civil Municipal de Barueri.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- IPCC, 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- Wang, L. (2023) Case studies of early warning monitoring of unstable slope using tilting and micro seism sensors. Lecture Series in Field Monitoring in Geomechanics ISSMGE TC220, 22/09/2023.