

Serra do Rio do Rastro - Contenção Experimental de Tirantes com Faceamento Flexível em Solo Coluvionar

Ana Paula Somenzzi

Engenheira, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, ana@fgs.eng.br

Felipe Gobbi

Diretor Técnico, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, felipe@fgs.eng.br

Alisson Sachetti

Engenheiro, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, alisson@fgs.eng.br

Fernando Segurado

Engenheiro, Teixeira Duarte Construções S.A., Vitória, Brasil, fvs@teixeiraduarte.com.br

Jorge Manuel Paulo Dinis

Geólogo, Teixeira Duarte Construções S.A., Lisboa, Portugal, jd@teixeiraduarte.com

RESUMO: Durante os anos de 2020 e 2022 foram executados 22 pontos de contenção na Serra do Rio do Rastro, no estado de Santa Catarina. Dentre os 22 pontos estabilizados uma contenção experimental foi realizada em solo coluvionar, utilizando-se tirantes ativos e faceamento em malha de aço de alta resistência. Esta obra experimental foi instrumentada com células de carga nos tirantes e célula de pressão no contato do paramento com o terreno. As cargas, tanto de protensão como de pressão aplicadas ao terreno, foram monitoradas durante as etapas de protensão e vem sendo monitoradas durante a vida útil da obra. Análises paramétricas foram realizadas considerando o sistema passivo ou ativo, e os resultados foram comparados com os valores medidos em campo.

PALAVRAS-CHAVE: Tirantes Ancorados, Solo Grampeado, Solo Coluvionar, Instrumentação.

ABSTRACT: During the period of 2020 to 2022 22 slope stabilizations projects were carried out along Serra do Rio do Rastro road, in Santa Catarina, Southern of Brazil. In one of this sites, an experimental slope stabilization measure using pre tensioned tie back with high tensile wire mesh as facing was used. This structure was instrumented with load and pressure cells in order to evaluate the feasibility of this approach. Also parametric slope stability analysis were carried out to evaluate the different influences on factor of safety for an active or passive slope stabilization measures. Instruments showed that is a challenge to keep the pretension forces due the plate/terrain deformability. The facing also reduces the pressure applied to the slope, but in a minor scale than the tiebacks. Data shown that this approach needs further developments to be used as a practice in slope stabilization works.

KEYWORDS: tie back, flexible facing, colluvium, instrumentation.

1 INTRODUÇÃO

A Serra do Rio do Rastro, além de um cartão postal, é um desafio do ponto de vista geotécnico. O percurso de 47km entre Orleans/SC até Bom Jardim da Serra/SC inicia a uma cota de elevação de ~ 200m acima do nível do mar, e termina em uma cota de elevação de ~ 1.500m, sendo que a maior parte deste desnível é vencida em 8km de serra sinuosa.

As serras em geral, e isto se aplica sobremaneira para a Serra do Rio do Rastro, constituem terrenos propícios a ocorrência de instabilidades geotécnicas. Comumente são identificados diferentes tipos de movimentos de massa como: queda de rochas, deslizamentos em solo e rocha, avalanches de rocha, fluxos de detritos entre outros. Estes eventos são naturais e de difícil previsibilidade. Neste sentido, as obras de

engenharia têm a finalidade de elevar o grau de segurança nestas regiões, sendo impossível a eliminação total do risco geotécnico. Além da dificuldade de se obter uma previsibilidade acurada destes eventos, existe uma limitação financeira para implantação de medidas de proteção e estabilização de encostas nestas regiões. O que leva a uma abordagem de gerenciamento de risco e mitigação com atuação em áreas notadamente de maior risco à operação da rodovia.

Notadamente esta foi a postura da Secretaria de Infraestrutura do Estado de Santa Catarina (SIE) ao elencar 25 pontos no trajeto de vários quilômetros de serra, e contratar o projeto de estabilização destes pontos. Ao serem realizadas as vistorias de projeto, foram identificados tantos outros pontos que também merecem atenção ou atuação para mitigação de riscos geotécnicos, como era previsto, indicando que as intervenções nesta serra devem continuar ao longo dos anos.

Dentre estes 22 pontos de intervenção, em um ponto específico foi aplicada uma solução em caráter experimental, que foi o emprego de tirantes protendidos sobre faceamento em tela metálica de alta resistência em um solo coluvionar. O dimensionamento foi realizado de forma conservadora, sendo que mesmo sem considerar o esforço de protensão dos tirantes, os fatores de segurança mínimos fossem atingidos, e um plano de monitoramento foi elaborado para verificar a eficiência da aplicação das cargas de protensão neste sistema.

A utilização de sistemas ativos utilizando malha como paramento não são usuais. Uma aplicação pioneira pode ser verificada em Gobbi (2019), entretanto para um talude rochoso.

Este artigo apresenta o contexto geológico da Serra do Rio do Rastro, o projeto do ponto em questão, as análises paramétricas de estabilidade realizadas e os resultados da instrumentação.

2 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO

O local escolhido para a realização do estudo foi a Serra do Rio do Rastro, localizada no município de Lauro Müller - Santa Catarina, RS. A serra possui em sua totalidade cerca de 30 km, sendo seu trecho mais sinuoso com 12 km de extensão. O talude em questão está posicionado entre o km 405+550 e 405+700.

A região está localizada na Bacia do Paraná, e foi a serra onde foi mapeada e publicada a coluna White. A coluna White consiste em uma das mais clássicas colunas estratigráficas elaboradas no Brasil. Sua origem remonta ao relatório Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brazil, apresentado pelo geólogo Israel Charles White em 1908 (Filho et al 2006). A estratigrafia proposta por White está dividida em grupos, dentro dos quais estão apresentadas as formações características correspondentes, conforme apresenta a Figura 1. A região de interesse do presente estudo está posicionada sobre a Formação Serra Geral, com altitude entre 1.000 e 1.400 m.

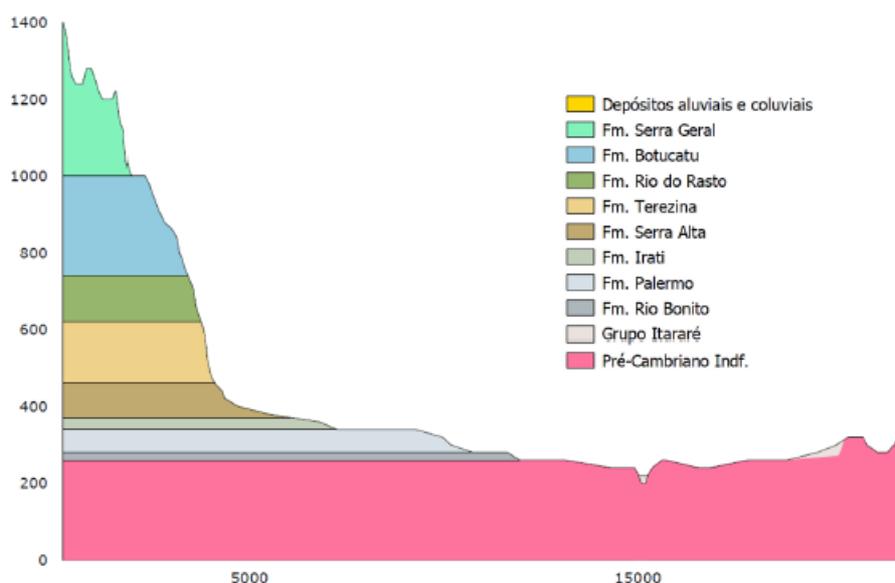


Figura 1. Perfil estratigráfico da Coluna White.

2.1 Formação Serra Geral

Os taludes objeto de análise estão inseridos no contexto lito-estratigráfico da Bacia do Paraná, que representa uma espessa sequência de rochas sedimentares e vulcânicas, com idades desde 66 a 443 milhões de anos (Ma).

A porção inferior da serra (dentro do contexto do projeto) aflora o escudo cristalino, região do embasamento cristalino do granito Imaruí-Capivari. Seguindo na sequência estratigráfica da base para o topo, se insere no domínio da formação Serra Alta. Estratigraficamente posicionada entre as formações Irati e Teresina, o contato entre a base da formação Serra Alta e o topo da formação Irati se dá de modo brusco, pela ausência de folhelhos betuminosos e/ou calcários dolomíticos, que dão lugar a siltitos cinza escuro maciços, às vezes com leitos constituídos por restos de peixes e coprólitos (Meghioratti, 2006). Em seguida ocorre a Formação Teresina com argilitos, folhelhos e siltitos cinza escuros e esverdeados, intercalados com arenitos.

O trecho mais escarpado da serra, região de interesse para o presente artigo, encontra rochas pertencentes ao grupo São Bento. A Formação Serra Geral é constituída por sucessivos derrames de lava, predominantemente básicas, intercalados com arenitos eólicos e fluviais (CPRM, 2001). As rochas vulcânicas basálticas encontram-se bastante fraturadas, exibindo fraturas conchoidais. Pode apresentar também rochas ácidas, classificadas como riolitos e riolitos que, em função da elevada resistência ao intemperismo, tendem a se apresentar em encostas de elevada angulação e sem cobertura vegetal (ROISENBERG, 1989). Uma caracterização dos derrames basálticos pode ser encontrada em Leinz e Amaral (1978).

Além disso, é caracterizada por apresentar diques e sills de diabásios e andesitos. Estes, quando alterados, apresentam-se na forma de blocos com tamanhos variados, podendo também apresentar espessas camadas de latossolo vermelho quando totalmente intemperizados (CPRM, 2001).

3 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

A solução de projeto implantada consiste em três linhas de tirantes monobarra de diâmetro 22mm e carga de trabalho de 126 kN, sendo o comprimento da linha inferior de 5m e as demais 6m, ambas com espaçamento horizontal de 2,50 m. De forma associada à solução ativa, a tela metálica de alta resistência empregada como faceamento possui resistência à tração da malha de 150 kN/m e resistência ao puncionamento junto à placa de ancoragem de 180kN. Juntamente com a tela foi instalada manta antierosiva ao longo da face do talude, a fim de evitar problemas de erosão e contribuir para a fixação de espécies vegetais.

Além disso, a solução também contou com uma linha de grampos ao longo do pé da solução com diâmetro das barras de 22 mm e carga de trabalho de 126 kN. O espaçamento dos grampos é o mesmo utilizado para os tirantes, entretanto com diâmetro de perfuração de 75 mm e inclinação de 35° em relação ao eixo horizontal. A Figura 2 apresenta a solução descrita. A linha de grampos tem com finalidade fazer o fechamento do tratamento em tela metálica.

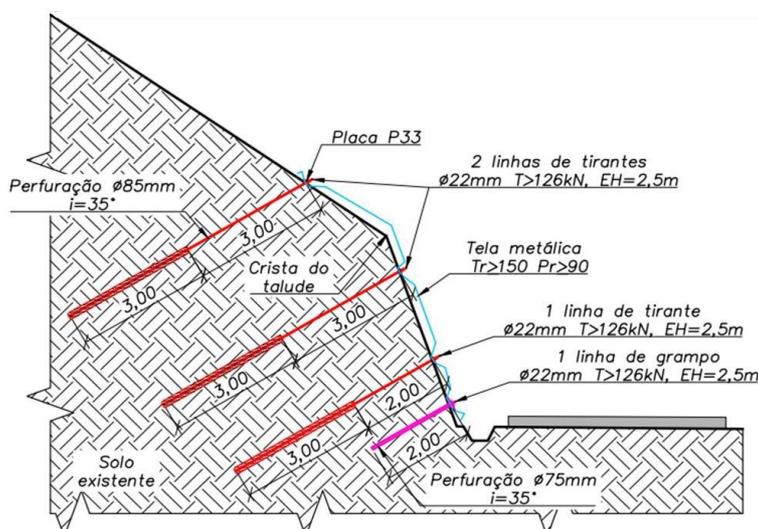


Figura 2. Seção tipo da solução adotada em projeto.

4 INSTRUMENTAÇÃO

Para verificação do desempenho da estrutura, o talude em questão foi instrumentado com 6 células de carga (CC) e 1 célula de pressão (CP) instaladas ao longo da solução para monitoramento do sistema de contenção, bem como para verificação da distribuição de carga ao longo do paramento. A Figura 3 apresenta a vista frontal do talude com a posição dos dispositivos instalados.



Figura 3. Vista frontal esquemática do talude com a posição dos dispositivos.

5 RESUMO DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Embora seja um solo coluvionar, o que nos remete a uma dificuldade de escala para obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento em laboratório, foi realizada uma campanha de ensaios de laboratório para determinação das propriedades da matriz argilosa. Para a elaboração da envoltória de ruptura ao cisalhamento foram realizados ensaios de cisalhamento direto de forma inundada para as tensões de 25, 50, 100 e 200 kPa. Os resultados são sumarizados na Tabela 1, enquanto a envoltória de resistência ao cisalhamento é apresentada na Figura 4.

Tabela 1. Índices físicos e resistência ao cisalhamento.

| Parâmetros | Resultados |
|--------------------------------|-------------------------|
| Peso específico real dos grãos | 26,45 kN/m ³ |
| Limite de Liquidez | 53,13% |
| Limite de Plasticidade | Não plástico |
| Coesão | 8,1 kPa |
| Ângulo de atrito interno | 39° |

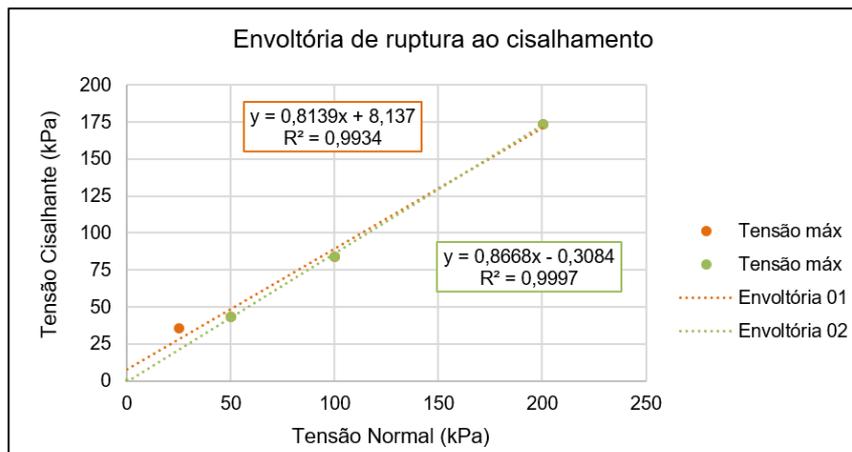


Figura 4. Envoltória de resistência ao cisalhamento.

Estes parâmetros foram balizados por retroanálises para utilização em projeto e neste estudo.

6 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE

Com o intuito de verificar a diferença numérica entre diferentes soluções de estabilização aplicáveis ao talude, foram realizadas análises de estabilidade global considerando três diferentes situações, sendo elas solo grampeado, tirantes ancorados ativos e tirantes ancorados passivos. Além disso, variou-se a condição de saturação do talude através da utilização de uma linha freática e variação da poropressão através da variação do parâmetro H_u . Para tal foi utilizado o método de Estabilidade por Equilíbrio Limite com apoio do *software Slide*, da *Rocscience*. A Figura 5 apresenta os resultados obtidos para cada cenário de análise.

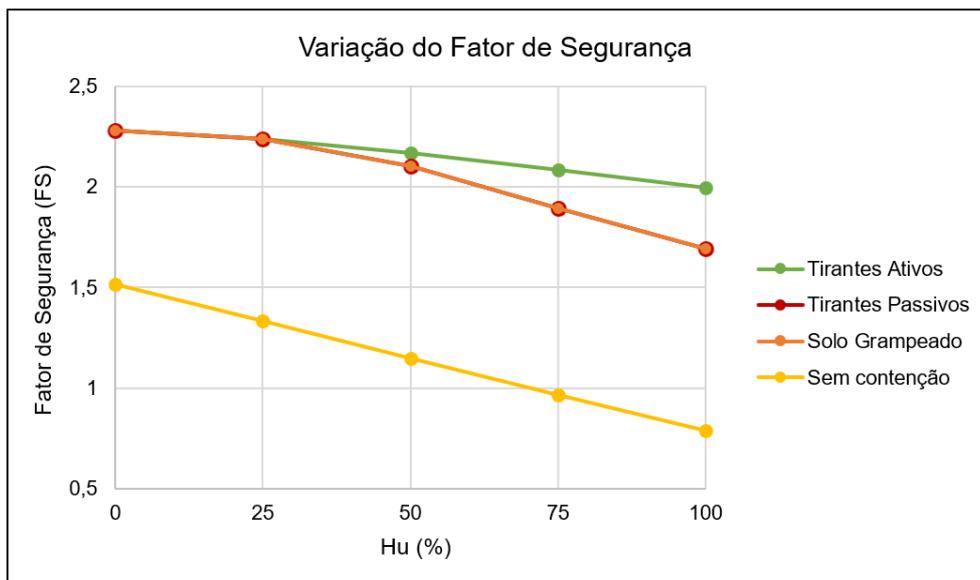


Figura 5. Variação do FS x Variação da Poropressão - Análise comparativa.

Observa-se que o fator de segurança global de todas as alternativas de estabilização se manteve acima do mínimo estabelecido de acordo com a norma NBR 61182 (ABNT, 2009), estando acima de 1,5 mesmo na pior condição de poropressão, onde $H_u=1,0$.

Como esperado, os tirantes ancorados de forma ativa apresentaram os maiores valores de FS em relação às demais técnicas de estabilização, visto que estes possuem carga de protensão incorporada às monobarras que sustentam o fator de segurança, apresentando um decréscimo de forma suave.

Já as técnicas de estabilização com solo grampeado e tirantes ancorados passivos apresentam os mesmos valores em todas as análises realizadas. Esta igualdade pode ser explicada pela forma como o software utilizado nas análises realiza o cálculo de estabilidade para estruturas passivas. Assim, a igualdade obtida entre os dois sistemas de estabilização não se faz verdadeira, correspondendo apenas ao método de cálculo utilizado.

Ainda, é possível constatar que o efeito das cargas incorporadas nos tirantes ativos somente reflete em diferença nos fatores de segurança após cerca de 30% de H_u , o que não era esperado. Verifica-se também a condição do talude sem a utilização de técnicas de estabilização, o qual não seria capaz de se manter estável após atingir pouco menos de 75% de H_u . É possível verificar também que o fator de segurança estabelecido por norma é atingido somente pela condição de talude seco ($H_u=0$).

7 RESULTADOS DA INSTRUMENTAÇÃO

A protensão dos tirantes foi realizada durante a fase executiva da obra, sendo realizadas leituras nos equipamentos de monitoramento à cada etapa de protensão realizada, possibilitando avaliar o comportamento individualizado de cada tirante e da tela metálica. Além disso, foi realizada uma campanha de testes de protensão adicional pela projetista após a finalização da obra junto ao tirante correspondente a célula CC_05 e na célula de pressão. A Figura 6 apresenta graficamente os resultados obtidos.

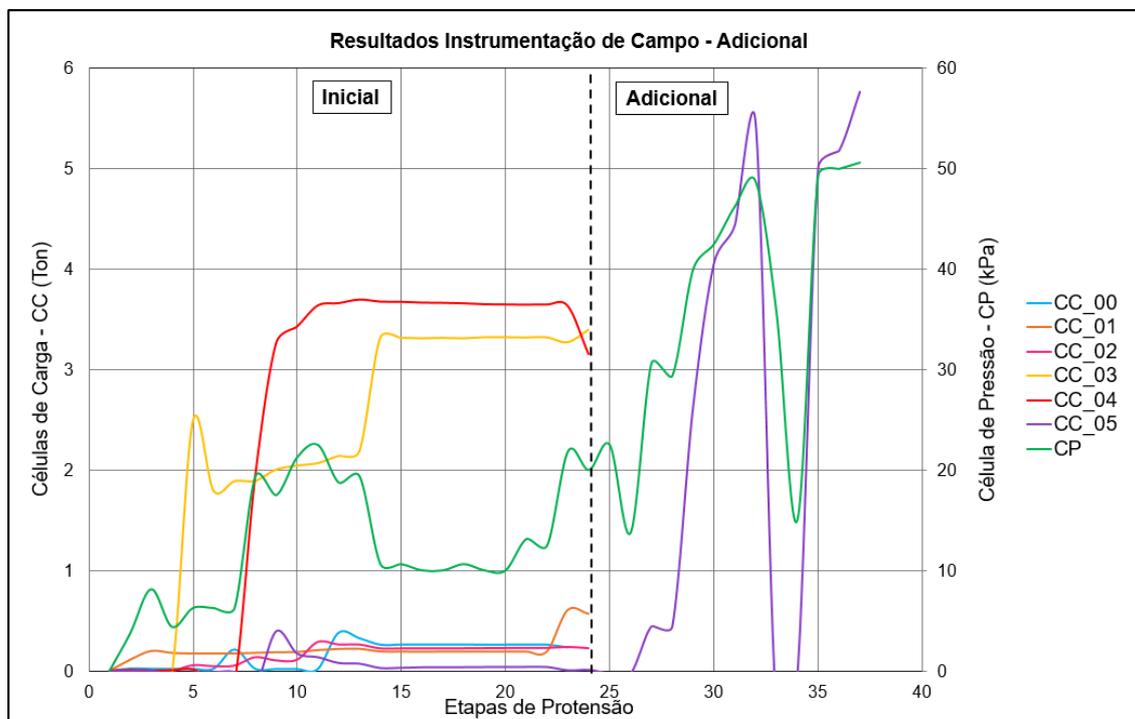


Figura 6. Resultados da instrumentação de campo.

Nota-se que, a cada incorporação de carga realizada, os tirantes não são capazes de mantê-la constante, perdendo parte da protensão. Esta perda pode ser explicada em parte pela deformabilidade do faceamento flexível composto por tela metálica, visto que esta não possui a mesma rigidez de uma cortina atirantada. Principalmente devido ao trecho livre do tirante empregado e a baixa carga de protensão (8 ton.), que resulta em um alongamento elástico de apenas 3mm, ou seja, qualquer ajuste da placa ao soltar o macaco já representa uma perda significativa da carga de protensão. Este fato é agravado pelo equipamento utilizado para a protensão dos tirantes, sendo este uma cargueira apoiada sobre a placa dos tirantes, pressionando a tela contra a face do talude. Sendo assim, no momento da desmontagem e retirada do equipamento a tela apresentará alívio de tensão e a placa do tirante será deslocada, perdendo parte da carga incorporada. Está em desenvolvimento uma cargueira para dirimir este problema.

Observa-se também que os resultados correspondentes às células de carga CC_03 e CC_04 se mostram elevados quando comparadas às demais células devido à posição em que se encontram no talude, apresentando melhor ajuste da placa à tela, favorecendo o funcionamento do sistema.

Com relação à célula de pressão é possível observar que a tela está absorvendo a carga proveniente dos tirantes a cada incorporação, conforme esperado. Entretanto, a perda de carga sofrida pelos tirantes não ocorre na mesma proporção com a tela, restando um residual de carga absorvida. A diferença na perda e absorção de carga pode ser explicada pelo funcionamento da tela metálica, a qual trabalha de forma conjunta com todos os tirantes que junto à ela são executados, e a deformação necessária para se aliviar a carga na tela é muito maior do que a deformação necessária para aliviar a carga dos tirantes.

Além disso, é possível notar que, quando os tirantes mais próximos à célula de pressão (CC_00 e CC_02) são protendidos, há um ganho elevado de pressão na tela, sendo explicado pela proximidade dos tirantes à célula de pressão, tensionando mais a tela do que tirantes distantes.

Os resultados obtidos com a campanha de leituras adicionais demonstram claramente os efeitos de cada etapa de protensão no sistema, corroborando com as observações realizadas.

7 CONCLUSÕES

A partir do exposto constata-se que os tirantes deste projeto, após protendidos, foram capazes de manter de 3,6% a 46% da carga de protensão. Os valores mais baixos, entre 3,6 a 7,5% de carga de protensão estão relacionados aos tirantes em que a placa não teve um bom ajuste ao paramento. Para os locais de melhor ajuste placa x paramento, os tirantes mantiveram cerca de 42 a 46% da carga.

A pressão transmitida pela tela ao talude também foi medida, e apresenta variação de acordo com protensão dos tirantes, conforme esperado. Quando ocorre a perda de carga de protensão dos tirantes também ocorre a perda de pressão entre a tela e o terreno, entretanto em uma proporção inferior.

Com o nível de carga de protensão obtida nos tirantes não é possível afirmar que o sistema de contenção esteja funcionando inteiramente no sistema ativo em função da maior flexibilidade do paramento, como também em função da dificuldade de manutenção das cargas de protensão. Por outro lado, o nível de tensão atingido na tela e a carga de protensão nos tirantes também não caracterizam um sistema de solo grampeado convencional, pois existe uma carga ativa aplicada sobre o terreno.

Os resultados são preliminares e não permitem uma conclusão assertiva quanto a segurança de consideração deste tipo de sistema como sistema ativo, a exemplo de cortinas atirantadas, sendo bastante dependente das condições de contorno, mas indicam para uma possibilidade de êxito neste sentido. Está em andamento o projeto tanto de cargueira como de diferentes formas executivas a fim de aprimorar a utilização desta solução, bem como as verificações pertinentes de cálculo correlacionando com os resultados de campo.

Importante salientar que as verificações demonstraram que, independentemente da forma como o sistema funcionar, os fatores de segurança mínimos necessários são atingidos e o sistema é efetivo na contenção deste talude.

AGRADECIMENTOS

A equipe do trabalho agradece à Secretaria de Infraestrutura do Estado de Santa Catarina por ser o órgão contratante e o consórcio Teixeira Duarte FGS Geotecnia Serra do Rio do Rastro 2022 pela viabilização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro.
- CPRM (2001). Serviço Geológico do Brasil. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo - SH22*. Disponível em: <www.cprm.gov.br>. Acesso em: 28 abr. 2022.
- CPRM (2001). Serviço Geológico do Brasil. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*. Disponível em: <www.cprm.gov.br>. Acesso em: 28 abr. 2022.
- Gobbi, F. (2019). *The use of high-tensile wire mesh to promote active stress field in a Rockmass*. ISRM 14th International Congress of Rock Mechanics, Foz do Iguassu, 8 p.
- González De Vallejo, L.I. (2004). *Ingeniería geológica*. Isabel Campella. Orymu SA. 715p.
- Orlandi Filho, V.; Krebs, A.S.J.; Giffoni, L.E. 2006. Coluna White, Serra do Rio do Rastro, SC - Seção Geológica Clássica do Continente Gondwana no Brasil. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert Born, M.; Queiroz, E. T.; Campos, D. A.; Souza, C. R. G.; Fernandes, A. C. S. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet em 22/12/2006 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio024/sitio024.pdf>.
- Leinz, V., Amaral, S.E. (1980). *Geologia geral*. Ed. Nacional, São Paulo, 8ed. 397p.
- Meglhioratti, T., 2006. *Estratigrafia de Sequências das Formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rastro (Permiano, Bacia do Paraná) na Porção Nordeste do Paraná e Centro-Sul de São Paulo*. Rio Claro, SP, Dissertação de Mestrado, 147 p.
- Roisemberg, A. (1989). *Petrologia e geoquímica do vulcanismo ácido mesozóico da Província Meridional da Bacia do Paraná*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.