



Descomissionamento e recuperação de cortinas atirantadas na BR-158 em Santa Maria/RS após eventos climáticos de 2024

Cleber Floriano

Diretor, SF Engenharia Diferenciada, Porto Alegre, Brasil, cleber.floriano@email.com

Patricia Souza

Diretora, SF Engenharia Diferenciada, Porto Alegre, Brasil, patricia@souzafloriano.com

Emily Quevedo da Silva

Engenheira, SF Engenharia Diferenciada, Porto Alegre, Brasil, emily@souzafloriano.com

RESUMO: O presente artigo apresenta o caso de descomissionamento e recuperação estrutural de cortinas atirantadas na rodovia BR-158, em Santa Maria/RS, com ênfase no segmento do km 320+770. As contenções apresentavam sinais de degradação variáveis e essa em destaque de colapso iminente, como subsidência da pista e trincas longitudinais, agravados pelos eventos climáticos extremos de 2024 no Rio Grande do Sul. Esses eventos expuseram fragilidades estruturais associadas a deficiências nos sistemas de drenagem e à perda de resistência de solos residuais e colúvios subjacentes. As investigações geotécnicas realizadas incluíram sondagens a percussão e mistas, além de inspeções visuais e mapeamentos geológicos. Identificou-se um perfil de solo heterogêneo, composto por arenitos friáveis da Formação Caturrita, siltitos e colúvios com baixa coesão e alta suscetibilidade à saturação. A solução envolveu o descomissionamento das estruturas comprometidas e implantação de grelha atirantada com novo arranjo de tirantes, fundações com estacas raiz e drenos horizontais profundos (DHPs). A concepção foi validada por modelagem numérica sob aspectos estruturais. Os resultados evidenciaram a eficácia da intervenção em restaurar a estabilidade do maciço, melhorar a drenagem interna e aumentar a resiliência da infraestrutura frente a novos episódios de precipitação intensa, contribuindo para a segurança e longevidade da rodovia.

PALAVRAS-CHAVE: Contenções atirantadas, Recuperação estrutural, Estabilização de taludes.

ABSTRACT: This paper presents the case of decommissioning and structural recovery of anchored retaining walls on highway BR-158, in Santa Maria/RS, with emphasis on section km 320+770. The retaining structures showed signs of imminent failure, such as pavement subsidence and longitudinal cracks, worsened by the extreme weather events in Rio Grande do Sul in 2024. These events exposed structural vulnerabilities related to drainage deficiencies and the loss of strength of residual soils and underlying colluvium. Geotechnical investigations included percussion and mixed drilling, as well as visual inspections and geological mapping. The subsurface profile was found to be heterogeneous, composed of friable sandstones from the Caturrita Formation, siltstones, and low-cohesion colluvium highly susceptible to saturation. The solution involved the decommissioning of compromised structures and the implementation of a grid-type anchored system with a new arrangement of double-protection anchors, root piles, and deep horizontal drains (DHDs). The design was validated by numerical modeling, ensuring a safety factor above 1.50. The results demonstrated the effectiveness of the intervention in restoring slope stability, improving internal drainage, and increasing the resilience of the infrastructure to future intense rainfall events, contributing to the safety and longevity of the highway.

KEYWORDS: Anchored retaining walls. Structural recovery, Slope stabilization

1 INTRODUÇÃO

Os eventos climáticos extremos que assolaram o estado do Rio Grande do Sul no ano de 2024 impactaram significativamente a infraestrutura rodoviária, provocando rupturas, recalques e instabilidades em diversos segmentos viários, com destaque para os setores da BR-158 em Santa Maria/RS. As cortinas atirantadas implantadas nessa rodovia, originalmente concebidas para estabilização de taludes íngremes sobre solos residuais e rochas sedimentares, apresentaram manifestações patológicas críticas, exigindo reavaliação das soluções estruturais aplicadas. Estudos anteriores (BOLINA; FLORIANO, 2014; AZAMBUJA; FLORIANO, 2015 e 2017) já apontavam limitações técnicas e construtivas recorrentes em cortinas atirantadas executadas em ambiente geológico heterogêneo, especialmente diante da ausência de drenagem profunda, insuficiência de proteção anticorrosiva dos tirantes e métodos de execução incompatíveis com o comportamento anisotrópico dos solos locais. Esses trabalhos demonstraram, inclusive, a necessidade de integração entre soluções estruturais e critérios geotécnicos de longo prazo para assegurar o desempenho funcional dessas obras.

No caso da BR-158, observou-se que os episódios de sobrecarga hídrica intensificaram os processos de instabilização já latentes, provocando colapso progressivo de painéis, trincas longitudinais, recalques diferenciais e subsidência das pistas. Os sintomas identificados no segmento do km 320+770 se alinham às patologias discutidas nos estudos anteriores, indicando a reincidência de falhas relacionadas à drenagem ineficaz e degradação prematura dos elementos de contenção. O presente trabalho tem como objetivo descrever o processo de diagnóstico, descomissionamento e reabilitação estrutural das contenções do km 320+770, abrangendo a análise geotécnica, os critérios de projeto adotados e os métodos executivos empregados, visando garantir estabilidade, durabilidade e resiliência da solução frente a novos episódios hidrológicos intensos. A abordagem adotada se baseia nas lições aprendidas e metodologias discutidas nas publicações anteriores, consolidando diretrizes técnicas para contextos semelhantes.



Figura 1. Vista área da cortina do km 320+770 – T19

2 ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS REGIONAIS

A região de Santa Maria está inserida na porção central da Depressão Periférica do Planalto Meridional, domínio da Bacia do Paraná, onde afloram predominantemente rochas sedimentares mesozoicas da Formação Caturrita, integrante do Grupo Santa Maria. Essa unidade é composta por arenitos finos a médios, de coloração avermelhada, parcialmente cimentados, intercalados por níveis de siltitos e folhelhos, resultando em maciços de baixa coesão e permeabilidade variável. A estratigrafia local reflete condições deposicionais fluviais da fase Triássica Superior, com litofácies heterogêneas, o que contribui para comportamentos geotécnicos complexos. Segundo o CPRM (2008), essa configuração estratigráfica apresenta grande sensibilidade às variações de umidade e à saturação, sendo comumente associada a movimentos de massa e instabilidades superficiais. A variação litológica horizontal e vertical, comum nas formações do Grupo Santa Maria, confere comportamento anisotrópico e exige abordagem diferenciada para obras de contenção, sobretudo em trechos rodoviários com corte em encostas íngremes.

Sobre esses substratos rochosos desenvolvem-se solos residuais argilosos, de espessura variável, e extensos depósitos coluvionares de composição heterogênea, com fragmentos retrabalhados de arenitos e blocos dispersos. Esses materiais superficiais apresentam baixa coesão, elevada porosidade e elevada suscetibilidade à erosão e saturação, favorecendo processos de instabilização, especialmente sob intensa recarga pluvial. O clima subtropical úmido da região, com precipitação anual superior a 1600 mm, acentua os processos de intemperismo e degradação dos perfis. No trecho do km 320+770, destaca-se a declividade acentuada do talude de montante ($>45^\circ$) e a presença de escoamento concentrado não controlado.

No contexto regional, observa-se que os segmentos instáveis da BR-158 estão frequentemente associados à presença de colúvios encaixados em talvegues ou encostas com geometria abrupta, formados a partir de processos de movimentação gravitacional e deposição desorganizada de fragmentos de arenito. Esses solos coluvionares, de baixa resistência ao cisalhamento e elevada variabilidade granulométrica, atuam como gatilhos para rupturas rasas e progressivas, especialmente quando saturados. A presença recorrente desses materiais frágeis, combinada com a alta declividade e ausência de controle eficiente de drenagem, justifica a aplicação de soluções como as cortinas atirantadas para garantir a estabilidade da plataforma viária.

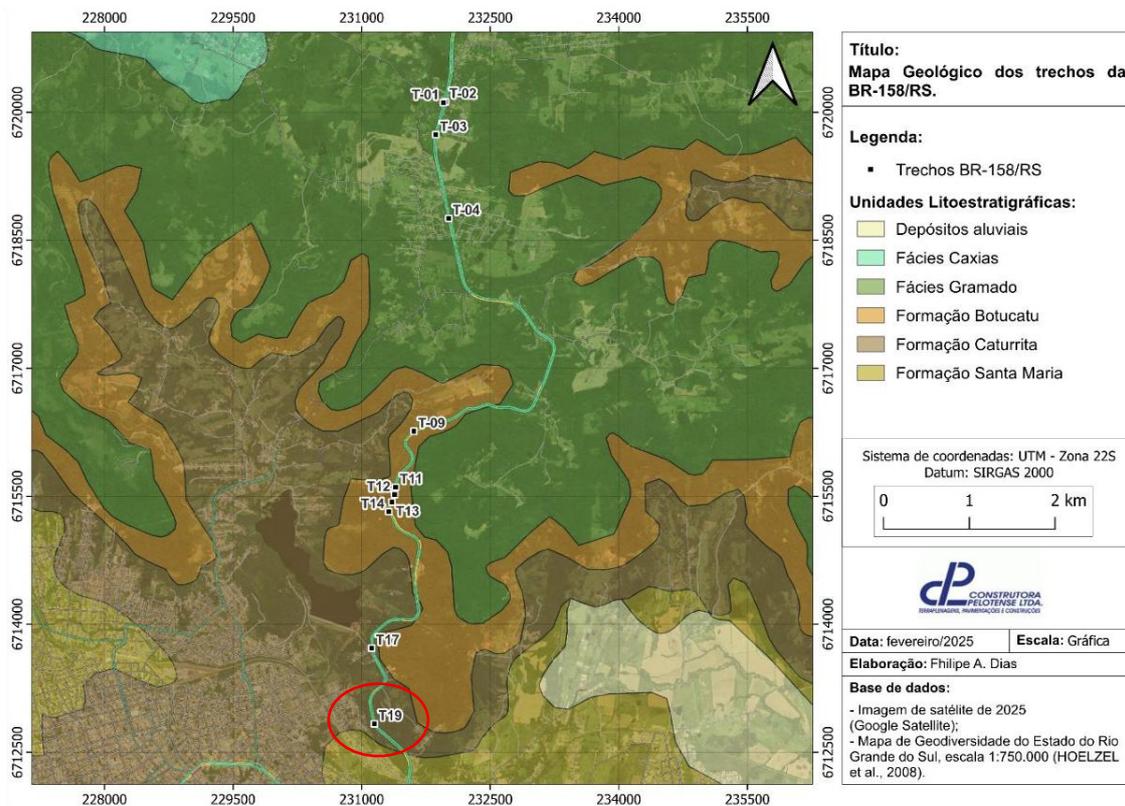


Figura 1. Mapa geológico local com destaque para o local T19 – referenciado neste artigo. Fonte: Estudos Realizados pela empresa Pelotense (2025).

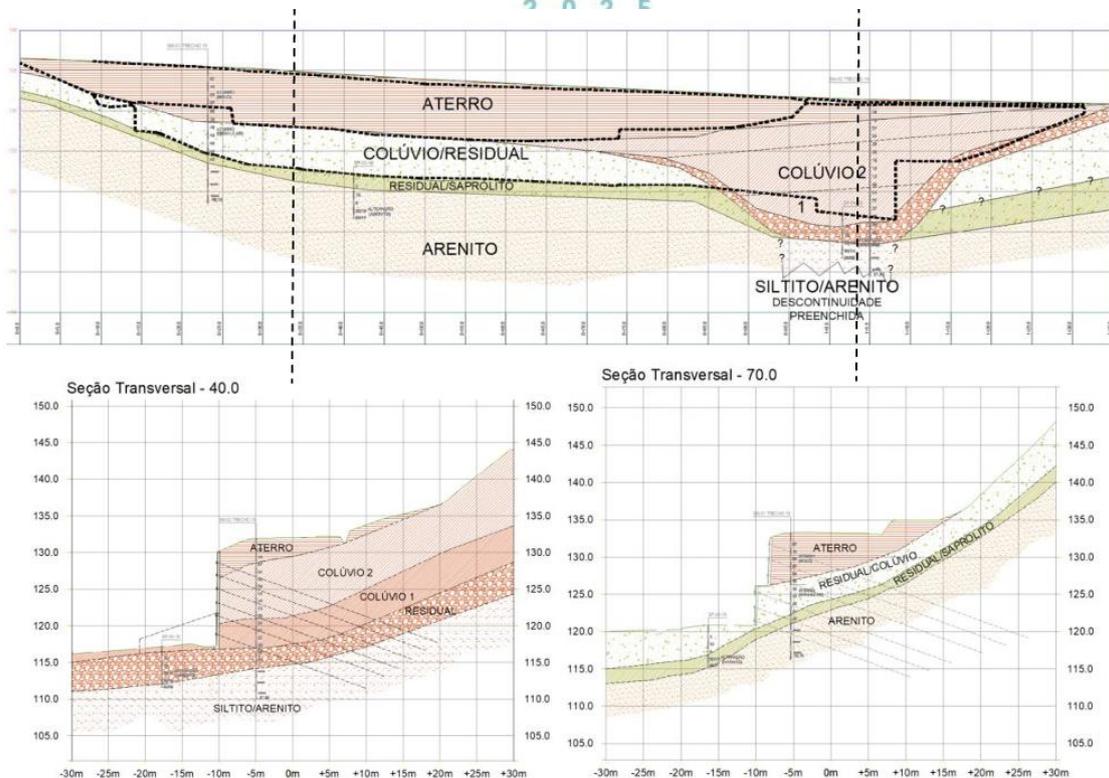


Figura 2. Seções geológicas geotécnicas interpretadas a partir das investigações geotécnicas e observação de campo na posição da cortina T19.

As investigações geotécnicas no trecho do km 320+770 da BR-158 foram conduzidas por meio de sondagens a percussão (SPT) e mistas, com profundidades variando entre 8 m e 14 m, revelando um perfil estratigráfico composto por camada superficial de colúvios heterogêneos, solos residuais argilosos e substrato rochoso arenítico parcialmente alterado. Os colúvios apresentaram comportamento mecânico variável, com resistência ao cisalhamento não drenado S_u entre 20 e 35 kPa, elevada porosidade e presença de blocos retrabalhados de arenito, dificultando a previsibilidade da resposta mecânica. Já os solos residuais argilosos, derivados do intemperismo dos arenitos da Formação Caturrita, apresentaram parâmetros drenados com $\phi' \approx 26^\circ$ e $c' \approx 5$ kPa, com tendência a deformações volumétricas sob saturação prolongada. Foram identificados horizontes parcialmente cimentados intercalados com níveis de baixa resistência, o que indica comportamento geotécnico anisotrópico e susceptibilidade à instabilização localizada. Além disso, a presença de níveis de lençol freático suspenso e a ausência de sistema de drenagem profundo potencializaram a elevação das pressões neutras, fator crítico para o desempenho das contenções pré-existentes.

3 CADASTRO DAS CONTENÇÕES EXISTENTES

O cadastro técnico das contenções implantadas ao longo da BR-158 foi realizado por meio de inspeções visuais, ensaios não destrutivos, análise de projetos originais (quando disponíveis) e levantamento das manifestações patológicas. Esse processo permitiu identificar a tipologia estrutural predominante, condições de manutenção, desempenho funcional e os fatores de degradação atuantes. De forma geral, as contenções consistiam em cortinas de concreto projetado com tirantes ativos, distribuídos em um a três níveis, implantadas sobre maciços instáveis formados por solos coluvionares e residuais sobre substrato rochoso arenítico.

No segmento específico do km 320+770 (cortina T19), trata-se de uma cortina com 10 segmentos de juntas verticais sendo 17 painéis. A altura máxima corresponde a 14 m exposto, conforme levantamento topográfico, junto ao painel 8. Sete dos 10 segmentos são escalonados. Os tirantes na maior parte são barras roscadas, bastante deteriorados, com corrosão e perda de roscabilidade, os diâmetros de 30 mm com carga de trabalho 200 kN. Nota-se no paramento superior uma quantidade grande de tirantes em duplicidade, capacetes

reforçados, entretanto, aparentemente um faceamento mais jovem, menos deteriorado o que está relacionado a perda de capacidade de ancoragem por fluência, ou comprimentos de ancoragens curtos, ou ainda (menos provável) excesso de atrito nos tirantes executados, que proporcionaram repetições de perfurações e reinjeções excessivas naquela ocasião. Marcante também são as patologias de juntas horizontais. Em especial a que acomete o painel 8 na posição entre a segunda e terceira linha de tirantes de baixo para cima. Neste local, ocorre uma abertura por flexão da junta com um painel que contém 45 tirantes, sendo que em torno de 50% dos tirantes não estão mais em funcionamento no painel.

As inspeções revelaram deterioração significativa dos painéis, com fissuras verticais, destacamento local de concreto e deslocamentos laterais superiores a 40 mm em setores críticos. A pista apresentava sinais de subsidência, relacionados à perda de resistência do solo de fundação e à obstrução do sistema de drenagem superficial.

Apontou-se a inexistência de funcionalidade de drenos profundos como fator determinante para a elevação da pressão neutra e instabilização progressiva. As análises retroativas indicaram fator de segurança (FS) original de 1,08, abaixo dos níveis recomendados, demandando intervenção imediata com reconfiguração da geometria estrutural e reforço da base de fundação. A caracterização geométrica e funcional do sistema foi essencial para a definição das medidas de descomissionamento e reprojeto adotadas.

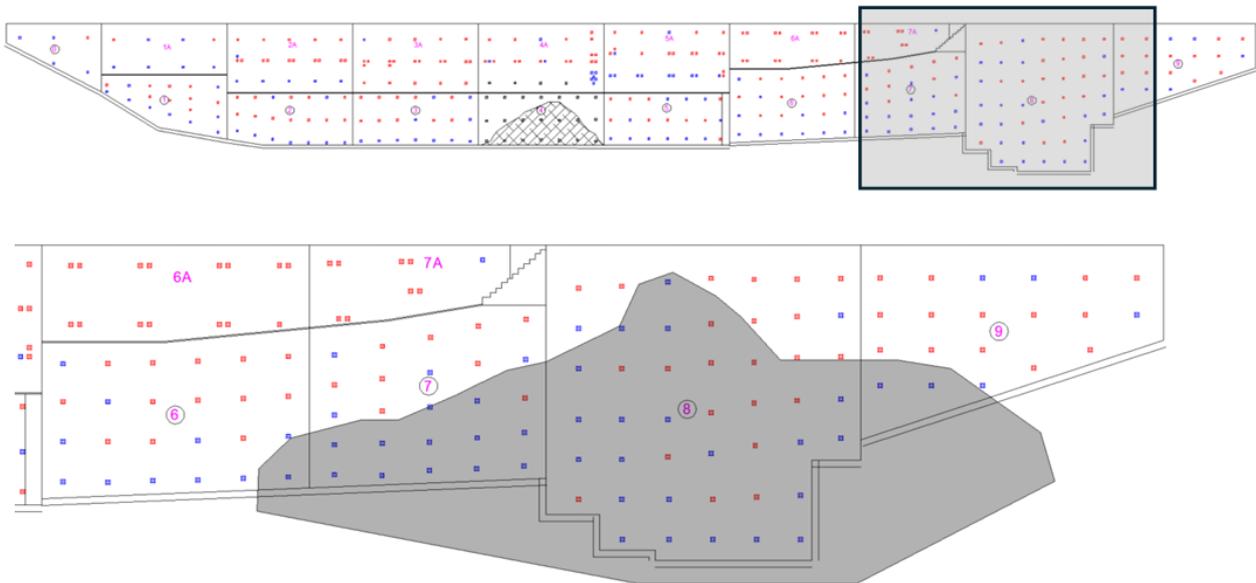


Figura 3. Cadastro simplificado da cortina T19. Tirantes azuis a priori não estão em carga, conforme inspeção.

4 CONCEPÇÃO E ALTERNATIVAS DE PROJETO

No km 320+770 da BR-158 foram avaliadas quatro alternativas principais para a reabilitação da contenção existente: (1) nova cortina justaposta; (2) cortina afastada do terreno; (3) cortina de grelha atirantada utilizando como paramento a cortina existente; (4) Contrafortes estaqueados.

Dentre essas opções, a alternativa (3) foi selecionada como solução definitiva, por apresentar maior compatibilidade com o ambiente geológico local, permitir execução por etapas e viabilizar o controle de esforços atuantes nos painéis, bem como permite uma sequência executiva mais ajustada e possibilitada a tomada de decisões simplificadas em termos de alterações, em suma, corresponde a uma estrutura mais resiliente especialmente durante a execução. Essa alternativa compreende a instalação de grelha de concreto armado com melhoria no sistema de drenagem profunda (DHPs).

ALTERNATIVA COM GRELHA ATIRANTADA

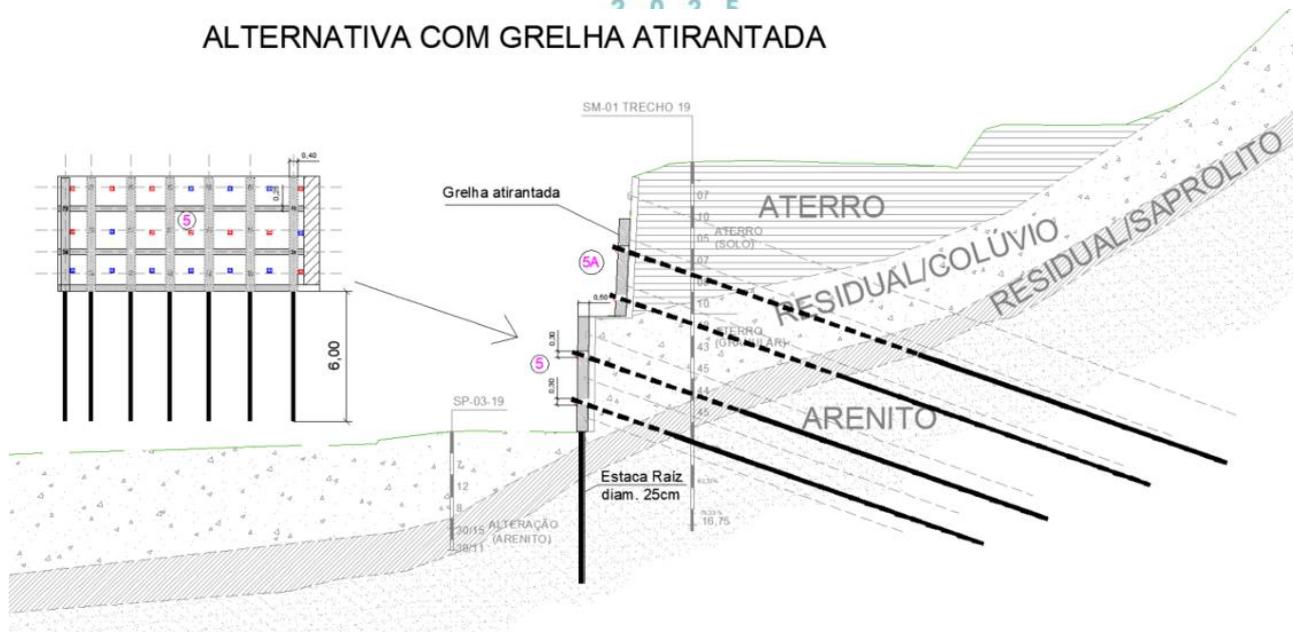


Figura 4. Alternativa com grelha atirantada foi a concepção convergente a execução do descomissionamento da cortina existente T19.

As soluções propostas foram avaliadas por modelagem numérica bidimensional, utilizando critérios de resistência ao cisalhamento drenada para os solos residuais e não drenada. Os resultados indicaram fator de segurança (FS) pós-intervenção superior a 1,50, e deslocamentos horizontais inferiores a 20 mm, demonstrando a eficácia da intervenção. A concepção final integrou critérios geotécnicos e estruturais com base em parâmetros obtidos in situ, aliada à simulação de cenários de recarga hidrológica extrema, de forma a assegurar a estabilidade a longo prazo do segmento da rodovia.

Um fato importante neste contexto confere ao comprimento de ancoragem. Estes tirantes estão inseridos em material alterado de rochas sedimentares finas, alguma vezes plásticas, como ocorrem com os siltos. Já os arenitos são finos e quando ocorre a perfuração, a aderência reduz magnitude e a capacidade de adesão é reduzida. O que justifica as deformações do maciço, perda de carga de tirantes, recorrência de execução de tirantes. Os comprimentos de ancoragem adequados são superiores a 10 m, pois o comportamento do material é corresponde ao de um solo no interior do furo (FLORIANO, 2014).

A análise de estabilidade global foi realizada no software Geo5 pelo método de Bishop e Morgenstern-Price. Os fatores de segurança mínimo objetivados foi de 1,5 (ver Figura 5).

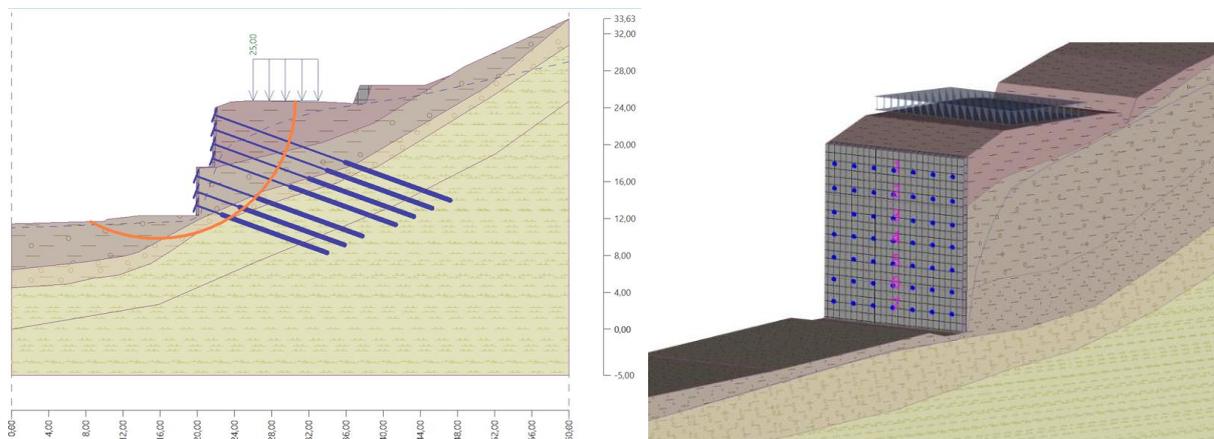


Figura 5. Análise de estabilidade global considerando tirantes com carga de trabalho de 210 kN e espaçamento de 2,0 m (vertical e horizontal). (a) seção escalonada; (b) 3D do painel 8.

O projeto estrutural foi desenvolvido através do software por MEF SCIA Enginner e os desenhos pelo AllPlan, integrando a geometria pelo Civil 3D. Portanto, o projeto foi concebido em plataforma BIM. A seguir apresenta-se um exemplo da distribuição de painéis típicos em um desenho de formas.

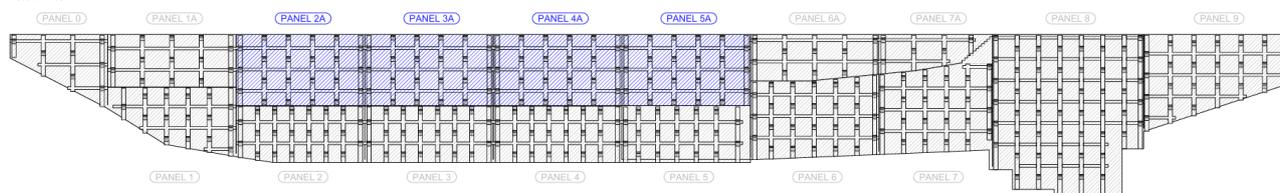
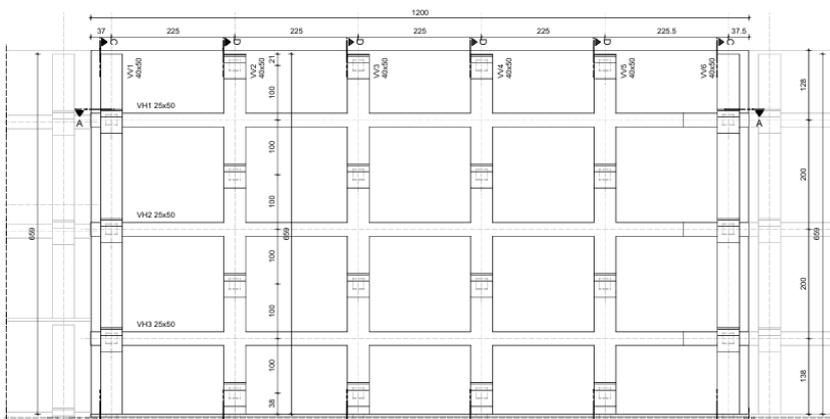
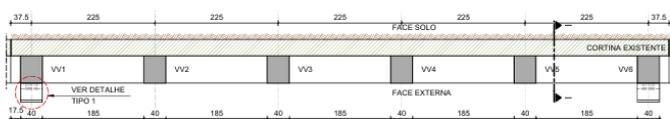
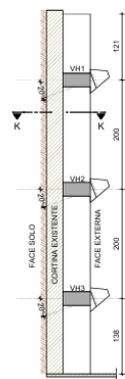
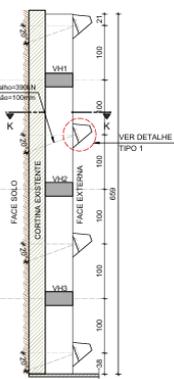
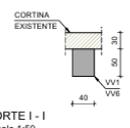
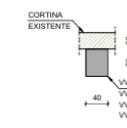
VISTA - LOCAÇÃO DOS PAINÉIS
Escala 1:250FORMA (PANEL 2A - PANEL 3A)
Escala 1:50 (PANEL 4A - PANEL 5A)VH1 = VH2
CORTE A - A
Escala 1:50VV1 = VV6
CORTE C - C
Escala 1:50VV2 = VV3 = VV4 = VV5
CORTE D - D
Escala 1:50CORTE K - K
Escala 1:50CORTE K - K
Escala 1:50CORTE I - I
Escala 1:50

Figura 6. Exemplo de distribuição da grelha em um conjunto de painéis.

5 CONCLUSÕES

A intervenção na BR-158, no segmento do km 320+770, demonstrou a importância da realização de diagnósticos precisos, com base em mapeamentos geológico-geotécnicos e retroanálises criteriosas, para o direcionamento de soluções integradas de contenção em regiões com solos coluvionares instáveis. A degradação progressiva das estruturas atirantadas existentes, associada à ausência de drenagem profunda e à heterogeneidade do perfil geotécnico, exigiu uma reavaliação completa da concepção estrutural, culminando no descomissionamento das cortinas existentes. A nova solução, baseada em grelha de concreto armado atirantada em níveis, associada a estacas raiz e drens horizontais profundos, preconiza a melhoria no desempenho mecânico e hidráulico da estrutura.

A validação por modelagem numérica e os ensaios in situ demonstraram a eficiência da intervenção em reduzir deslocamentos e aumentar o fator de segurança global acima de 1,50, mesmo sob cenários simulados de saturação intensa. A abordagem adotada reforça a relevância de considerar as especificidades litológicas e estruturais locais, bem como as lições aprendidas em casos anteriores similares (BOLINA e FLORIANO, 2014; AZAMBUJA e FLORIANO, 2015 e 2017), consolidando diretrizes para projetos futuros. As ações executadas neste trecho da BR-158 se apresentam como referência replicável para recuperação de contenções em áreas vulneráveis a eventos hidrológicos extremos, contribuindo para a resiliência da malha rodoviária nacional.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Construtora Pelotense e ao DNIT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. *NBR 11682:2009 – Estabilidade de Encostas*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2009.
- _____. ABNT. *NBR 5629:2018 – Execução de tirantes ancorados no terreno*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2018.
- Azambuja, E.; Floriano, C. *Aspectos construtivos e de projeto que interferem na durabilidade de cortinas atirantadas – casos históricos de descomissionamento*. In: XII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – COBRAE 2017. Anais [...]. Florianópolis, 2017.
- Azambuja, E.; Floriano, C. *Durabilidade das cortinas atirantadas*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG 2015. Anais [...]. 2015.
- Bolina, F.; Floriano, C. *Reabilitação estrutural de cortina atirantada: estudo de caso*. In: Conferência de Foz do Iguaçu, 2014. Anais [...]. Foz do Iguaçu, 2014.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Escala 1:750.000. 2020.
- Pelotense. *Relatório Técnico Preliminar – BR-158, km 320+770*. Documento interno.