



Código
ARB-116SP-353+600-REC-EXE-V1/001

Rev.
A

Emissão:
15/08/2022

Folha:
1 / 91



Resp. Técnico / Projetista:
Paulo Tanouye CREA: 0600464432

Resp. Técnico / Concessionária:
Marcelo Possamai

Lote: - Rodovia: BR-116/SP

ANTT

Trecho: São Paulo - Curitiba

Verificado:

Objeto: **VOLUME 1 – RELATÓRIO DO PROJETO
CORTE DO KM 353+600 – PISTA NORTE**

Aprovado:

Documento de Referência:

Documentos Resultantes:



Rev.	Data	Resp. Téc/Proj.	Resp. Téc/Conces	DNIT	Ver – ANTT	Aprovado – ANTT
A	15/08/2022					

ÍNDICE

	PÁG
1. APRESENTAÇÃO.....	3
2. MAPA DE LOCALIZAÇÃO	4
3. INTRODUÇÃO	5
4. ANTECEDENTES	6
5. PROBLEMAS OBSERVADOS.....	15
6. ANÁLISES EFETUADAS PARA ENTENDIMENTO DA FENOMENOLOGIA ..	17
7. DESCRIÇÃO DAS OBRAS PROJETADAS	28
8. APRESENTAÇÃO DO PROJETO	29
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	31
10. ANEXOS	32
11. TERMO DE ENCERRAMENTO.....	91

1. APRESENTAÇÃO

O presente relatório refere-se ao contrato 21397/20 entre a AUTOPISTA RÉGIS BITTENCOURT S/A. e a SOLOCONSULT Planejamento, Projetos e Consultoria S/S Ltda., cujo objeto contempla o Projeto Executivo de Recuperação da Drenagem e Pavimentação do Corte do km 353+600 – Pista Norte da BR-116/SP.

O projeto foi desenvolvido de acordo com as normas do DNIT e da AUTOPISTA RÉGIS BITTENCOURT S/A., visando garantir os parâmetros de desempenho preconizados no contrato de concessão, através de soluções que atendam técnica e economicamente as necessidades e expectativas do contratante.

A SOLOCONSULT Planejamento, Projetos e Consultoria S/S Ltda., foi a empresa contratada para a realização deste trabalho, tendo assinado junto à AUTOPISTA RÉGIS BITTENCOURT S/A., o contrato 21397/20. Possui sua sede na Avenida Brigadeiro Luiz Antonio, 2344 – conj. 24, São Paulo/SP e seu CNPJ é 59.284.166/0001-20.

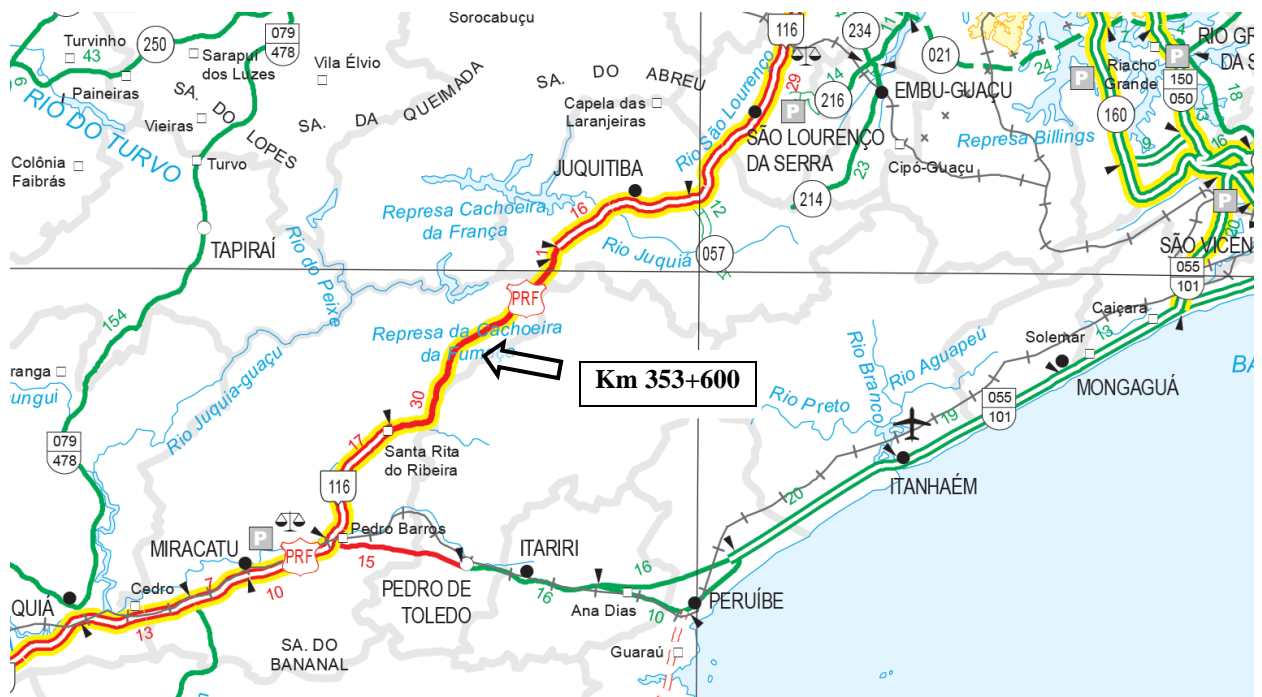
Os dados referentes ao contrato em pauta estão expressos a seguir:

- Rodovia: BR-116/SP
- Trecho: São Paulo - Curitiba
- Extensão: 402,6 km
- Jurisdição: ANTT Agência Nacional de Transportes Terrestres.

O Projeto Executivo em questão é composto pelos seguintes documentos:

- **Volume 1 – Relatório do Projeto;**
- Volume 2 – Projeto Executivo;
- Volume 3 – Especificações Técnicas;
- Volume 4 – Orçamento.

2. MAPA DE LOCALIZAÇÃO



Mapa de Localização do Corte do km 353+600 da BR-116/SP.

3. INTRODUÇÃO

O presente documento tem por objetivo apresentar os estudos desenvolvidos para o Projeto de Recuperação da Drenagem e Pavimentação do Corte do km 353+600, Pista Norte da BR-116/SP – Rodovia Régis Bittencourt.

Aborda sobre as premissas adotadas no projeto e os procedimentos contemplados na obra, com análise da situação atual do maciço em termos de estabilidade global e probabilidade de ruína, diante das condições de contorno apresentadas pelo local, obtidas de investigações geotécnicas: sondagens à percussão, sondagens mistas, poços de inspeção, INA's e marcos superficiais.

Finaliza com as medidas preconizadas para o local, visando recompor e manter as condições de segurança do maciço, perante os eventos observados durante todo o período de acompanhamento e monitoração, de julho de 2017 até a presente data.

4. ANTECEDENTES

O corte do km 353+600 com extensão de 160,0 metros, executado originalmente com taludes 1,5H:1V e duas bermas intermediárias, foi objeto de análises anteriores como decorrência das condições de fragilidade do terreno, identificadas durante a execução da obra de terraplenagem. Naquela ocasião, o corte apresentou inicialmente trincas junto ao talude inferior, próximo à plataforma, e ruptura de canaleta implantada na 1ª berma.

As movimentações no maciço foram condicionadas pela ocorrência de nível d'água alto, aflorando em alguns pontos do talude intermediário e junto ao pé do talude na cota da plataforma da via, provavelmente controlado pela presença de camada de solo coluvionar poroso e permeável depositado sobre camada de solo residual de baixa permeabilidade.

Posteriormente, devido à saturação do maciço, ocorreram durante o período chuvoso, duas rupturas localizadas, mobilizando camadas de solo coluvionar poroso presente no talude inferior.

Com o surgimento de novas trincas no talude intermediário e na crista do corte, baseado nas recomendações da CJM Consultoria de Geotecnia de novembro de 2016, foi executado um enrocamento misturado com solo cimento junto à face do talude inferior, bem como a implantação de uma trincheira drenante ao longo do pé do talude, além da instalação de uma linha de drenos horizontais profundos (DHP's) na 1ª berma, espaçados a cada 5,0 metros e comprimento de 12,0 metros (total de 14 drenos), com a finalidade de restaurar e combater as cunhas de escorregamento do talude inferior, implementando dispositivos de drenagem profunda para agregar condições mais adequadas à estabilidade do maciço.

Em outubro de 2016, foram executadas 4 sondagens à percussão (três na 1ª berma e uma na 2ª berma), com a finalidade de obter dados de resistência à penetração, além da verificação da posição do N.A.

As referidas sondagens mostraram a existência de uma camada de solo coluvionar poroso e permeável, depositado sobre solo residual de rocha pouco permeável, com a presença de uma camada de cascalho, muito comum na base dos colúvios.

Com base nas observações e premissas acima, em maio de 2017 a SOLOCONSULT foi contratada para elaborar a revisão e adequação do projeto. Para tanto, foram executadas mais 5 sondagens à percussão.

A referida revisão contemplou a ampliação de sistema de drenagem, com a instalação de mais 112 drenos horizontais profundos (DHP's), associada a um projeto de instrumentação (desenhos DE-06-116/SP-353-5-G21/701 a 703), abrangendo a instalação dos seguintes instrumentos: indicadores de nível d'água (INA's) e marcos superficiais controlados topograficamente (MS's).

Foram instalados 9 indicadores de nível d'água, aproveitando a perfuração das sondagens executadas no local: INA-01 na SP-353/1, INA-02 na SP-353/2, INA-03 na SP-353/3, INA-04 na SP-353/4, INA-05 na SP-353/5, INA-06 na SP-353/6, INA-07 na SP-353/7, INA-08 na SP-353/8 e INA-09 na SP-353/9.

A instalação desses instrumentos visou verificar a possibilidade de correlação da elevação ou rebaixamento do N.A. com a ocorrência de deslocamentos e/ou abertura de trincas, em especial na análise de estabilidade do talude, conferindo o fator de segurança obtido, associada às demais condições de contorno apresentadas pelo local, dentre as quais o posicionamento da linha piezométrica no interior do maciço.

A partir da efetivação das leituras, foram efetuadas diversas análises de estabilidade pela estaca 17.647+0,00, para as diversas situações da linha piezométrica ao longo do tempo, representadas pela posição do nível d'água apontada na leitura dos INA's, desde a data de instalação do instrumento até a mais recente leitura de N.A., incluindo àquela apresentada no projeto (ver figura 1).

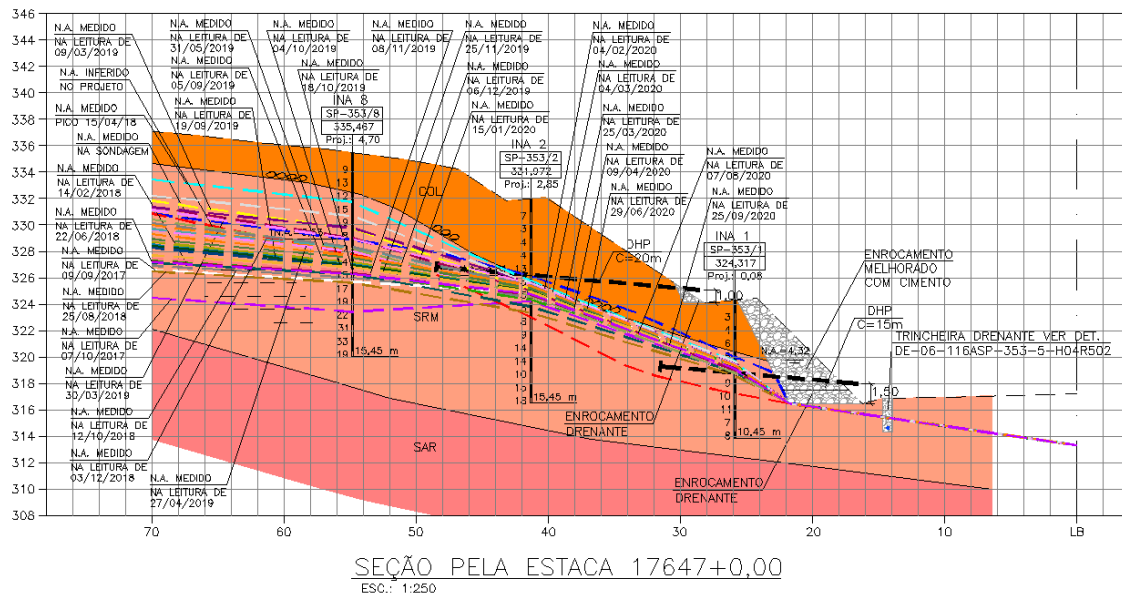


Figura 1 – Nível d'água inferido a partir das leituras dos INA's

O INA-05 foi destruído durante a instalação do DHP-117 que aparentemente o interceptou.

As leituras dos indicadores de nível d'água INA-01 a INA-09 apresentam 33 medições realizadas no período de 03/07/2017 (data de instalação e leitura zero) a 14/02/2018 (33ª leitura), sendo que não houve leituras no período de 21/10/2017 (31ª leitura) até 09/02/2018 (32ª leitura), quando as leituras foram retomadas.

As leituras dos INA's passaram a ser efetuadas de forma remota e automatizada a partir de 22/03/2018, denominados desde então como PZE-1, PZE-2, PZE-3, etc. Apesar da nova denominação, a referência da numeração atribuída aos INA's continuou a mesma, ou seja, PZE-1=INA-01, PZE-2=INA-02 e assim por diante.

As leituras remotas do PZE-1 ao PZE-9 apresentam dados com medições contínuas realizadas em dois períodos distintos, sendo o primeiro compreendido entre os dias 22/03/2018 e 28/03/2018, com leituras no PZE-1, PZE-2, PZE-3, PZE-4, PZE-6, PZE-7, PZE-8 e PZE-9. As leituras desse período foram denominadas como 34ª leitura.

As leituras no segundo período estão compreendidas entre 11/04/2018 e 19/04/2018 apresentando dados remotos de forma contínua em todos os PZE's (PZE-1 ao PZE-9), denominando-as como 35ª leitura.

Após a obtenção de dados referentes as leituras deste último período (11/04/2018 a 19/04/2018), as leituras foram efetuadas de forma manual devido à falha na transmissão dos dados, sendo realizadas 4 leituras, duas nos dias 29/04/2018 (36ª e 37ª leituras) e as outras duas nos dias 02 e 03/05/2018 (38ª e 39ª leituras).

A partir do dia 04/05/2018 foram retomadas as leituras remotas até 22/06/2018, denominando-as como 40ª leitura. De 23/06/2018 a 25/08/2018 registraram-se as leituras remotas identificando-as como 41ª leitura. De 26/08/2018 a 17/10/2018 registraram-se as leituras denominando-as como 42ª leitura e de 18/10/2018 a 21/12/2018 identificando-as como 43ª leitura.

De 22/12/2018 a 30/03/2019 registraram-se as leituras denominando-as como 44ª leitura. Neste período, as leituras representadas pelos gráficos dos PZE's mostraram elevação considerável do nível do lençol freático no interior do corte, com destaque para o PZE-2, PZE-4, PZE-6, PZE-7 e PZE-8, e pequena elevação no PZE-1 e PZE-9, com pico no dia 09 de março de 2019.

De 31/03/2019 a 31/05/2019 foram registradas as leituras denominando-as como 45ª leitura. Neste período, as leituras apresentaram uma pequena oscilação para baixo, em relação à 44ª leitura.

Desde o dia 05/09/2019, a leitura dos INA's deixou de ser feita remotamente, passando a ser realizada de forma manual, a partir da 46ª leitura.

Por outro lado, procedeu-se a ampliação do sistema de drenagem profunda, constituído por DHP's, conforme preconizado no projeto elaborado pela SOLOCONSULT.

Foram executados no local 126 DHP's sendo 61 deles instalados ao longo da 1ª berma (DHP-101 a DHP-161), dos quais 14 executados numa primeira campanha, com 15,0 metros de comprimento e perfuração inclinada para baixo; os demais 47 DHP's, com 20,0 metros de comprimento, foram perfurados com inclinação de 5° com a horizontal, porém na direção ascendente.

Ao longo do pé do corte, junto à contenção de enrocamento melhorado com cimento, foram executados 65 DHP's com 15,0 metros de comprimento, com furos inclinados de 5° com a horizontal, também na direção ascendente.

Para aferição de desempenho e cruzamento com os dados pluviométricos obtidos dos postos localizados nas praças de pedágio (em especial do Posto de Pedágio 2 – km 370+400 – Miracatu), foram efetuadas leituras das vazões dos DHP's no campo, entre os dias 13/03/2018 (39ª leitura) e 25/03/2019 (64ª leitura), que mostram desempenho bastante satisfatório, inclusive diante das chuvas registradas no período aferido, tal como observado no incremento das vazões de todos os DHP's instalados, principalmente entre as datas de 14/04/2018 e 20/04/2018 (período que compreendeu a ocorrência dos picos de acréscimo no N.A.).

A avaliação das condições de estabilidade do maciço, a partir das leituras dos INA's definindo uma linha piezométrica, resulta na pesquisa do círculo crítico que para este caso apontou um valor de $FS = 1,50$, atendendo ao mínimo requerido para os projetos da Serra do Cafezal ($FS_{min} = 1,40$).

Com base no N.A. medido em 17/02/2018, já na estação chuvosa, verificou-se o fator de segurança $FS = 1,40$, valor equivalente ao mínimo requerido.

No mês de abril, foi registrado uma chuva muito expressiva, notadamente no dia 15/04, com precipitação de 65mm em 24h na Serra do Cafezal, e que elevou o nível d'água do PZE-8 em +3,51m (ver relatório RT-06-116/SP-353-5-G21/714 - Tabela 2 do item 4.2).

A análise de estabilidade simulando este pico de N.A. medido em 15/04/2018 apontou um $FS = 1,29$, inferior ao $FS_{min} = 1,40$.

No entanto, a atuação dos DHP's com resposta imediata, traduzida pelo aumento de vazão da maioria dos drenos instalados, inclusive com alguns DHP's, que até então permaneciam secos, passaram a apresentar vazão.

A leitura dos PZE's do dia 19/04/2018 já apresentou uma redução do N.A. Na simulação da estabilidade para o N.A. medido nesse dia apontou o $FS = 1,38$, valor aceitável por aproximação ao $FS_{min} = 1,40$.

Em 26/04/2018 realizou-se uma inspeção no local para verificar a ocorrência de indícios de movimentação do maciço (como aparecimento de trincas, processo erosivo, abatimento etc) como decorrência do pico de N.A. observado nos PZE's. Tal visita não constatou qualquer anomalia, sugerindo a eficácia do desempenho dos DHP's na estabilidade global do corte.

A leitura dos PZE's realizada no dia 22/06/2018 apresentou nova redução no N.A. Na simulação da estabilidade para o N.A. medido nesse dia apontando $FS=1,43$, portanto superior ao $FS_{min} = 1,40$.

A inspeção no local efetuada no dia 04/07/2018 não constatou qualquer anomalia, evidenciando a eficácia do desempenho dos DHP's na estabilidade geral do maciço.

A inspeção no local efetuada no dia 21/08/2018 não constatou qualquer anomalia, a não ser o assoreamento de alguns trechos das canaletas da 1ª e 2ª berma, por acúmulo de detritos e vegetação.

A leitura dos PZE's realizada entre os dias 11/10/2018 e 12/10/2018 apresentou um pico de N.A. Na simulação da estabilidade para o N.A. medido nesse período apontou $FS = 1,39$, valor este aceitável por aproximação em relação ao $FS_{min} = 1,40$.

A inspeção no local efetuada no dia 16/10/2018 não constatou qualquer anomalia, a não ser por acúmulo de detritos e vegetação em alguns pontos das canaletas.

A leitura dos PZE's realizada no dia 03/12/2018 apresentou um novo pico de N.A. Na simulação da estabilidade para o N.A. medido neste dia apontou FS = 1,39, valor este aceitável por aproximação.

A inspeção no local efetuada no dia 22/01/2019 não constatou qualquer indício de movimentação observando-se, porém, assoreamento de alguns trechos da canaleta da 2ª berma, além de vegetação cobrindo pontos desses dispositivos.

A leitura dos PZE's realizada no dia 09/03/2019 apresentou um novo pico do N.A. Na simulação da estabilidade para o N.A. medido nesse dia apontou FS = 1,36, valor este aceitável por aproximação.

No dia 30/03/2019, a leitura efetuada nos PZE's gerou uma nova linha piezométrica, cuja simulação da estabilidade apontou FS = 1,37, também aceitável por aproximação.

Na visita realizada no dia 02/04/2019, foi observado que os DHP's da primeira berma, visualmente 8 deles apresentavam vazões elevadas, 11 vazões sob a forma de filete d'água e 3 apresentavam gotejamento. Do pé do talude, foi verificada vazão elevada em 2 DHP's, vazão sob a forma de filete d'água em 34 e gotejamento em 8 deles.

Conforme recomendado em relatórios anteriores, as canaletas da segunda e terceira berma foram removidas para reconstrução em concreto armado com tela metálica.

Nesta mesma data (02/04/2019), foi identificada uma trinca longitudinal no pavimento que se desenvolve entre o bordo da faixa de rolamento e o acostamento. Esta trinca se estende entre o DHP D248 e o D238, com comprimento aproximado de 28 metros; a partir daí, configura-se como fissura por mais 56 metros, com localização entre os D238 e D217. Foi observada, também, uma fissura transversal ao acostamento na altura do D240 (ver relatório de andamento nº 12 - RT-06-116/SP-353-5-G21/714).

Mediante tal situação, foi solicitada a escavação de dois poços de inspeção de 1,50x1,50x1,50m, ambos posicionados na lateral da trinca longitudinal, junto ao bordo da faixa 3. O primeiro poço será locado no ponto onde a fissura transversal se inicia (defronte ao DHP D240) e, o segundo, locado 16m adiante, no sentido Curitiba, defronte ao DHP D246.

Verificou-se, ainda, uma deformação do pavimento da faixa 3, com concavidade transversal de alguns centímetros, além de área localizada apresentando trincas interligadas.

As leituras dos PZE's realizadas nos dias 27/04/2019 e 31/05/2019 apontaram N.A.'s que submetidos a análise de estabilidade apresentaram ambas $FS = 1,40$, valor este aceitável.

Na visita realizada no dia 19/06/2019, verificou-se o ressurgimento da trinca longitudinal do pavimento (ver fotos 11 e 12), registrada em 02/04/2019, se estendendo por um trecho maior (180,0m), acompanhada também de fissuras e deformações transversais expressivas. Diante disso, foram previstas a execução de 6 poços e 7 valas de inspeção (ver relatório de andamento nº 12 - RT-06-116/SP-353-5-G21/714), para que se pudesse identificar as causas da ocorrência dessas patologias.

Na visita realizada no dia 21/10/2019, verificou-se que as obras de reconstrução das canaletas e da execução do revestimento das bermas com solo cimento restabeleceram o desempenho do sistema de drenagem superficial. Não foram observados indícios de movimentação do maciço com um todo.

As leituras dos PZE's realizadas nos dias 04/02/2020 e 04/03/2020 apontaram N.A.'s que nas simulações da análise de estabilidade apresentaram, respectivamente, $FS = 1,33$ e $FS = 1,32$, valores estes abaixo do $FS = 1,40$ aceitável.

As leituras dos PZE's realizadas nos dias 25/03/2020 e 09/04/2020 apresentaram nas simulações de estabilidade para os N.A.'s medidos nesses dias, respectivamente, $FS = 1,34$ e $FS = 1,35$, valores estes também abaixo do $FS = 1,40$ aceitável.

Já nos dias 29/06/2020, 07/08/2020 e 25/09/2020, as leituras efetuadas nos PZE's novas linhas piezométricas foram submetidas à simulações da estabilidade, que apontaram FS = 1,36, FS = 1,39 e FS = 1,39, respectivamente, sendo estas aceitáveis por aproximação.

Na visita realizada no dia 31/08/2020, efetuou-se a demarcação de 4 sondagens mistas a serem executadas, com o intuito de investigar a origem dos problemas recorrentes no pavimento, bem como a obtenção de dados complementares para subsidiar a elaboração do projeto de drenagem e pavimentação que a Arteris definiu como prioridade para resolução das patologias apresentadas no pavimento, representadas pelas trincas e deformações instaladas no trecho (ver relatório de andamento nº 12 - RT-06-116/SP-353-5-G21/714).

Conforme já mencionado, no dia 04/03/2020, o maciço apresentou um FS=1,32, sendo este o menor valor desde 15/04/2018, quando houve um pico de N.A., refletido na redução do fator de segurança para FS = 1,29, com rápida reversão após 4 dias, diante da atuação dos DHP's, com consequente aumento para FS = 1,38. A recuperação do fator de segurança nesta oportunidade foi mais lenta, voltando a apresentar FS aceitável somente em 29/06/2020, quase 4 meses depois.

5. PROBLEMAS OBSERVADOS

Dentre os problemas observados no pavimento e no entorno do corte do km 353+600, destacam-se:

- a) Trinca longitudinal no pavimento atingindo o acostamento e a faixa 3 e trincas transversais nas faixas 1 e 2.



Foto 1: Trinca longitudinal atingindo o acostamento e a faixa 3.



Foto 2: Trincas transversais atingindo as faixas 1 e 2.

- b) Dano do sistema de drenagem superficial, evidenciado pelo esmagamento da sarjeta de pista junto ao bordo do pavimento no acostamento e junto ao pé do talude;



Foto 3: Esmagamento da sarjeta de pista junto ao bordo do pavimento.



Foto 4: Pé do talude junto à sarjeta de pista.

- c) Avaria do sistema de drenagem subsuperficial (dreno longitudinal), mostrando surgência d'água na camada de rachão quando da abertura dos poços de inspeção (tubo dreno deformado em meio ao rachão);



Foto 5: Surgência d'água na camada de rachão sob a estrutura do pavimento.



Foto 6: Rachão saturado sob a estrutura do pavimento com vestígio do tubo dreno.

- d) Soerguimento do pavimento junto à caixa de passagem e o possível deslocamento da descida d'água sobre a mesma.



Foto 7: Soerguimento do pavimento junto à caixa de passagem.



Foto 8: Aspecto de possível deslocamento da descida d'água sobre a caixa de passagem.

6. ANÁLISES EFETUADAS PARA ENTENDIMENTO DA FENOMENOLOGIA

Para o entendimento das ocorrências observadas, foram realizadas análises de estabilidade de taludes com superfícies circulares e não circulares utilizando o programa SLIDE da Rocscience.

Na análise de estabilidade pelo método de redução de resistência, foi utilizando o programa PHASE da Rocscience.

Tornando-se como referência a seção pela estaca 17647+0,00 e o N.A. obtido em 04/03/2020, obteve-se para a análise de estabilidade com Superfície Circular, FS = 1,32 (ver Figura 2).

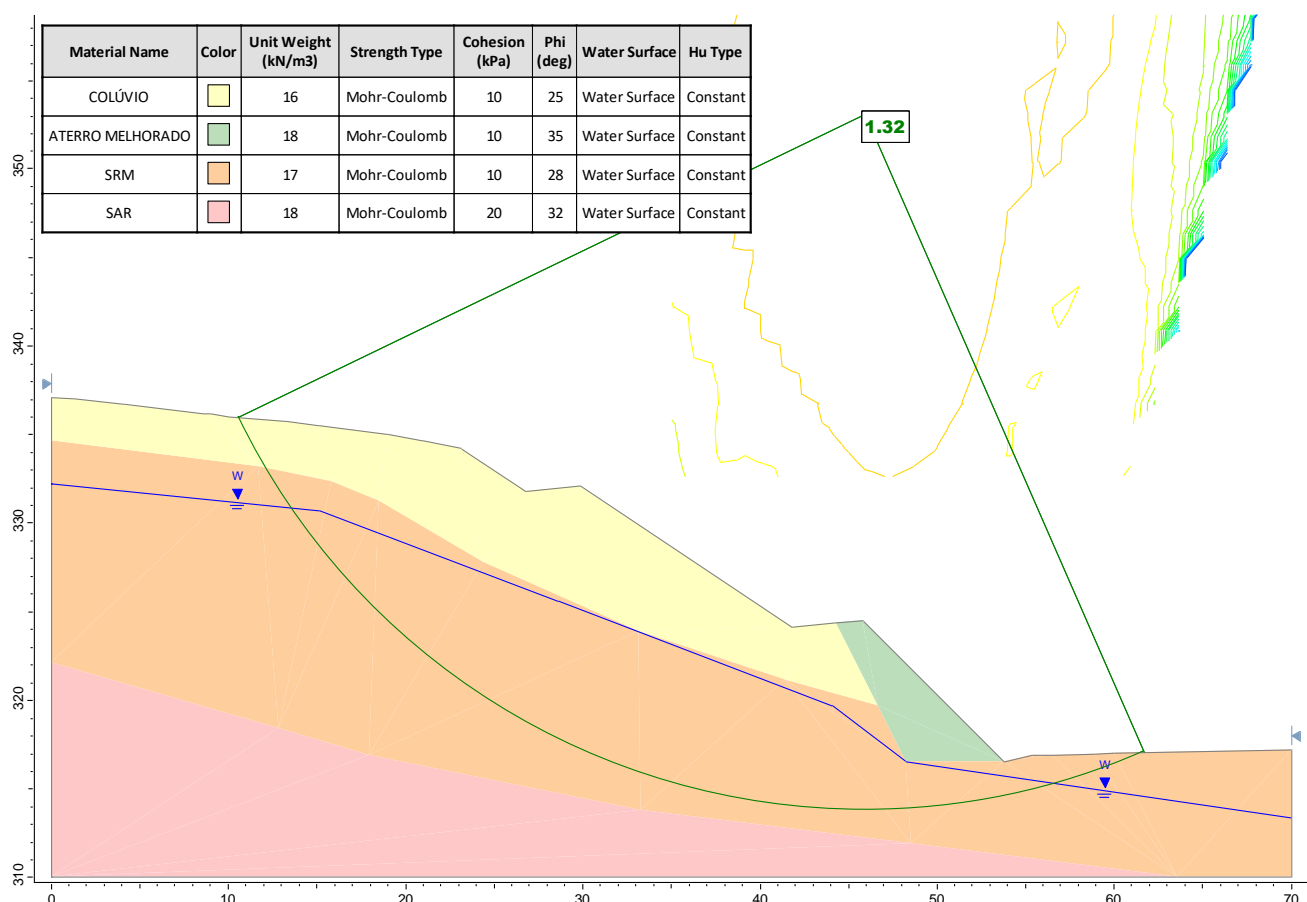


Figura 2: Análise de Estabilidade com Superfície Circular (Método de Morgenstern)

Por outro lado para a estabilidade com Superfície não Circular, o fator de segurança obtido foi de $FS = 1,25$ (ver Figura 3).

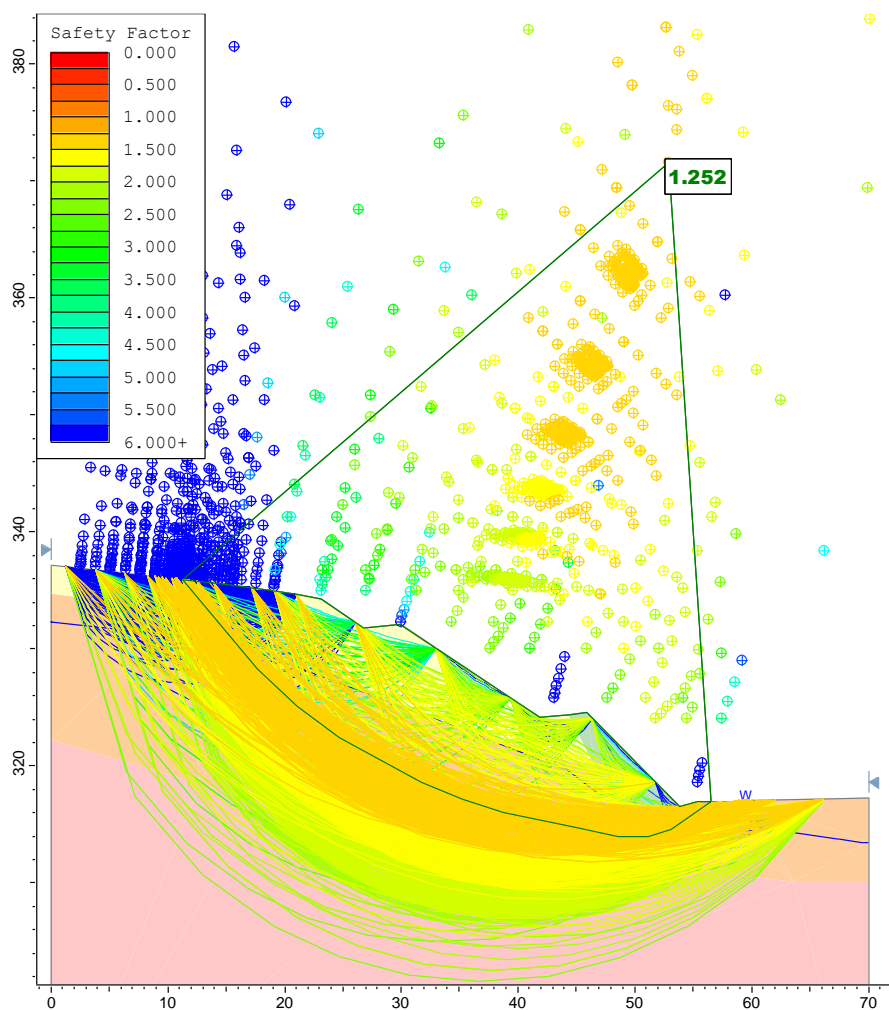


Figura 3: Análise de Estabilidade com Superfície não Circular (Método de Spencer)

Quando se analisa a estabilidade pelo Método de Redução de Resistência, verifica-se o desenvolvimento de superfície potencial de ruptura, para o caso específico, próxima de uma superfície não circular (ver Figura 4).

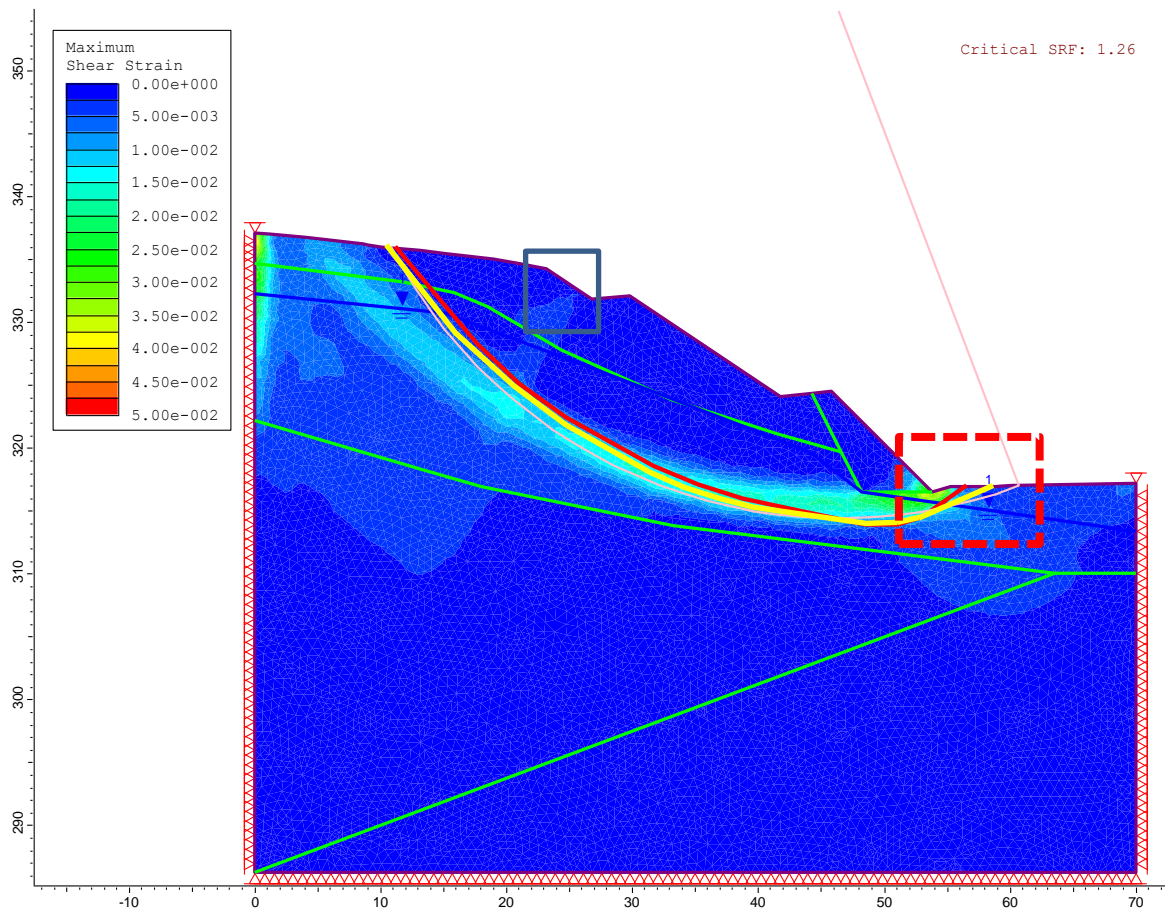


Figura 4: Análise de Estabilidade pelo Método da Redução de Resistência (SRF)

A análise de estabilidade pelo método de resistência resultou um fator de segurança $FS=1,26$.

Verificando as superfícies de plastificação (verde claro), bem como as superfícies circulares (linha fina rosa), não circular Spencer (vermelho) e Morgenstern (amarelo), podem ser feitas as seguintes considerações:

- a superfície mais próxima da plastificação observada no local seria a vermelha (Spencer);
- o FS mais próximo seria aquele calculado pela superfície não circular Spencer ($FS=1,25$), enquanto que a superfície circular forneceu $FS = 1,32$;
- a concentração de tensões ocorre no pé do muro existente.

Notar que na situação simulada, a posição da concentração das tensões praticamente coincide com a faixa de máximas deformações observadas no local (cor azul claro e verde) que seria o lugar geométrico de maior fragilidade, com potencial para o desenvolvimento de eventuais problemas.

Para avaliar a eventual ocorrência de uma ruptura geral, recorreu-se à Análise de Sensibilidade Paramétrica utilizando o próprio programa SLIDE, tendo em vista que o potencial círculo de ruptura desenvolve-se na sua maior extensão no interior da camada do solo residual maduro (SRM).

As análises de sensibilidade mostram os parâmetros geotécnicos do SRM como determinantes na variação do FS (ver Figura 5).

O colúvio (CO), apresenta menor sensibilidade e o solo de alteração de rocha (SAR) está praticamente horizontal, sem que o círculo passe pelo mesmo.

No SEM, o atrito seria mais sensível que a coesão.

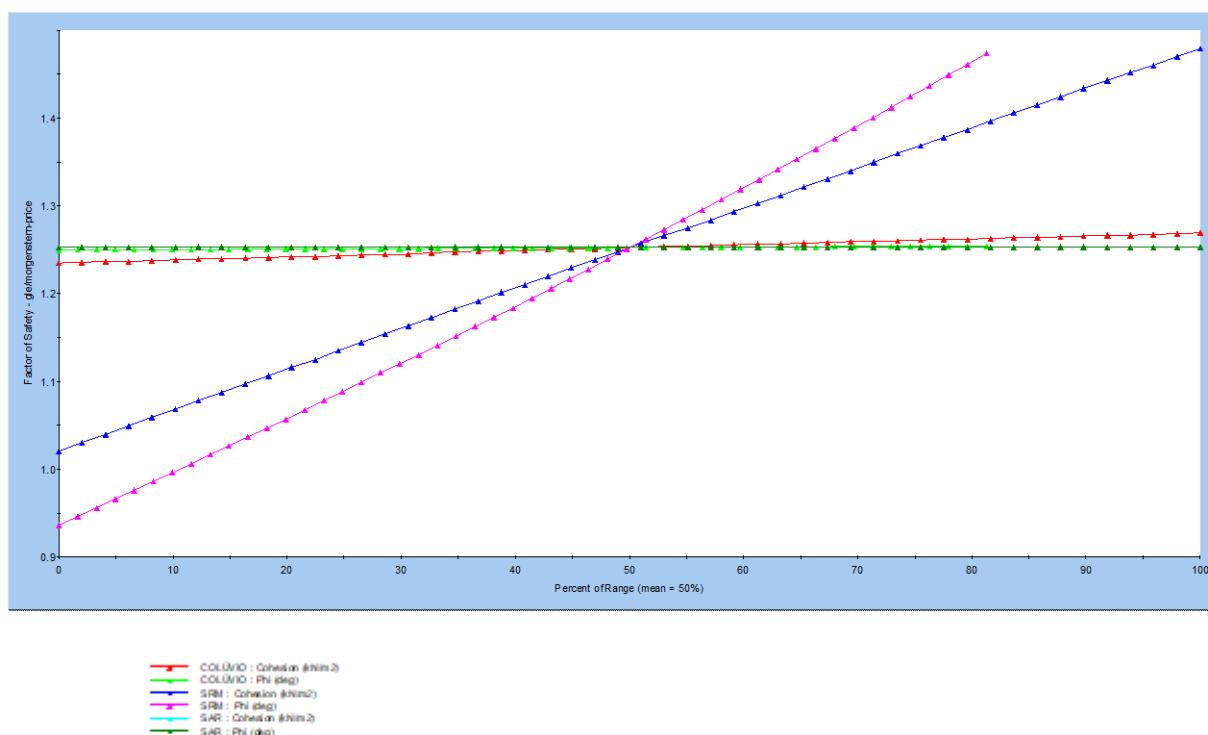


Figura 5: Análise de Sensibilidade dos parâmetros geotécnicos

Os gráficos abaixo (Figuras 6 e 7) apresentam a variação da coesão e do ângulo de atrito com o FS. Verifica-se que variação da coesão, de -7kPa a +5kPa, mantendo-se constante o atrito, o FS resultaria um pouco acima de 1,1 e 1,4, respectivamente.

A variação de +/- 4 graus resultaria um FS entre 1,08 e 1,26, respectivamente.

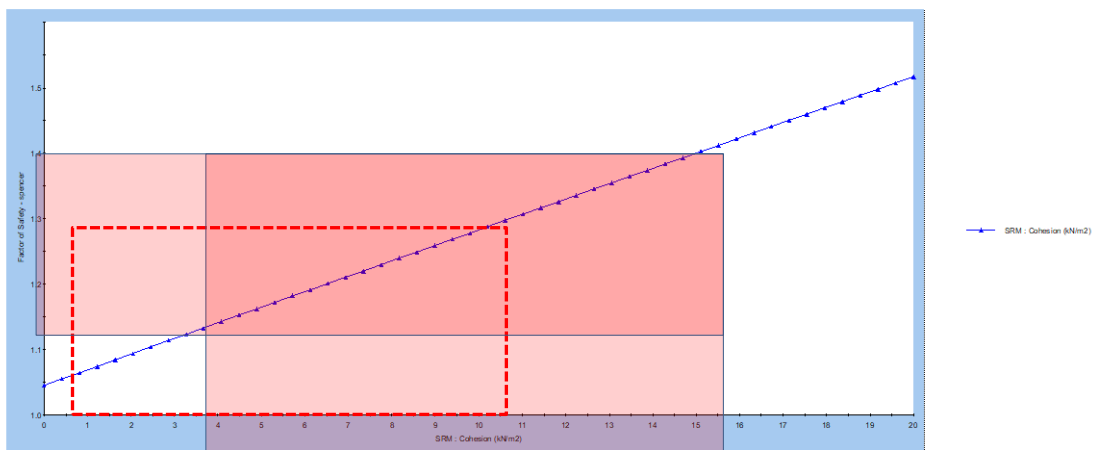


Figura 6: Análise de Sensibilidade com variação da coesão

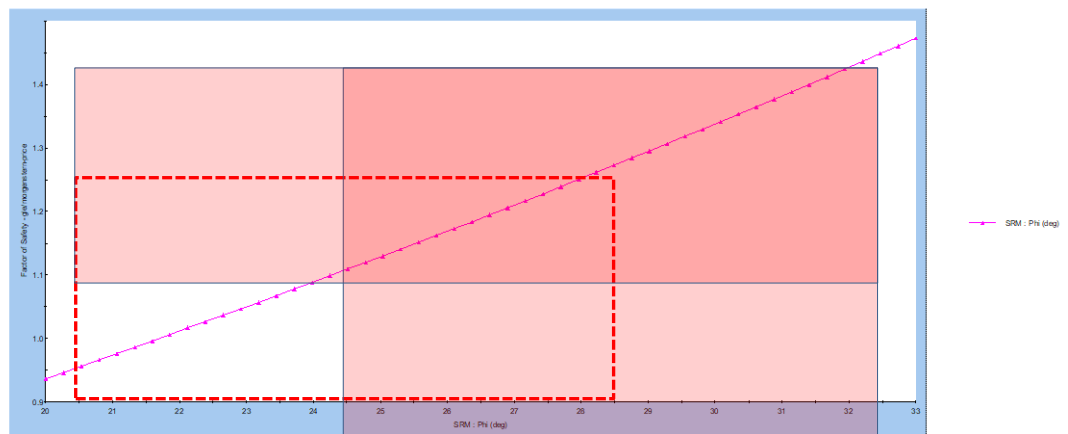


Figura 7: Análise de Sensibilidade com variação do ângulo de atrito

Nas Figuras 8 e 9 são mostrados os pares de parâmetros que resultariam num $FS \approx 1,00$; esta análise foi realizada pelo método probabilístico de Monte Carlo com a distribuição linear no SRM.

O gráfico mostra valores prováveis de coesão de 6kPa e atrito de 24°.

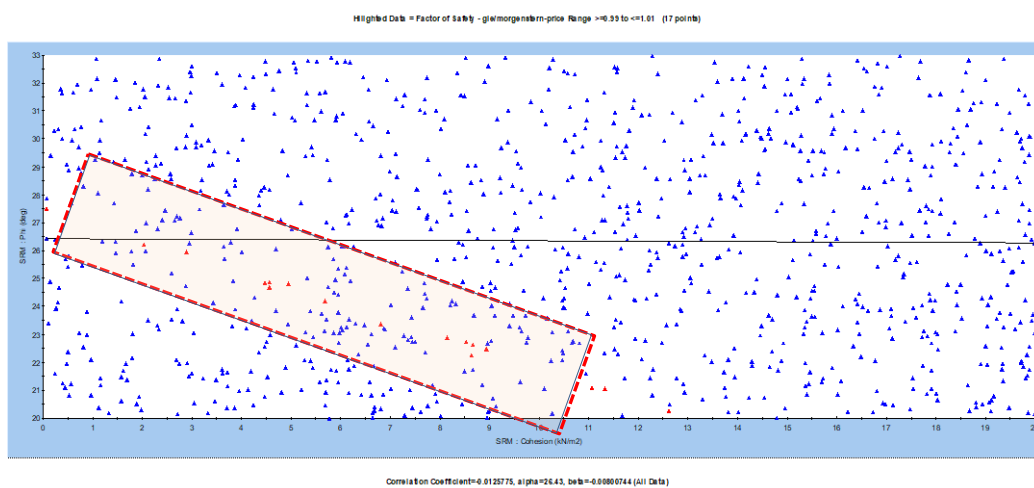


Figura 8: Análise Probabilística pelo Método de Monte Carlo – Valores Prováveis

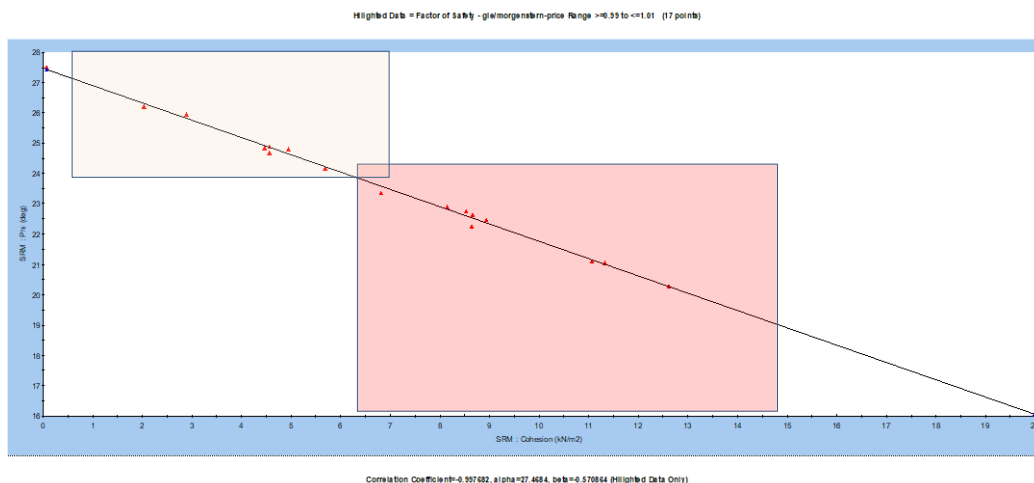


Figura 9: Análise Probabilística pelo Método de Monte Carlo – Valores Prováveis - Resumo

Uma análise similar foi realizada para o Colúvio; entretanto, assim como verificado na análise de sensibilidade, a camada de solo não apresenta pares de valores que resultariam em $FS=1,00$ (ver Figura 10).

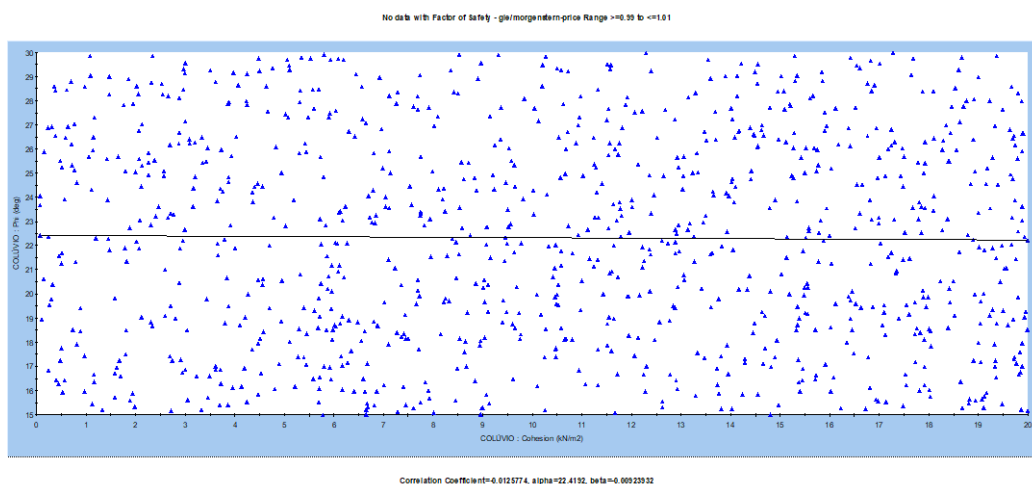


Figura 10: Análise Probabilística de pelo Método de Monte Carlo – Colúvio

A eficiência dos DHP's, verificada de forma contínua, mediante monitoração, onde os mesmos respondem prontamente à elevação do N.A., com acréscimos de vazão, mostra-se imprescindível para manter o FS global mínimo, não permitindo uma ruptura. Entretanto, face à concentração de tensões observadas nos estudos pelo método da redução de resistência, pode não ser suficiente para garantir que a recomposição da pavimentação não venha sofrer novamente deformações tal como as observadas no local.

Em termos de estabilidade de taludes, foi possível verificar que os aspectos geológico-geotécnicos apresentaram redução dos fatores de segurança em comparação aos valores verificados anteriormente, observados ao longo da monitoração; A diminuição dos fatores de segurança demonstram a necessidade de tomada de medidas compensatórias, no sentido de recompor as condições de segurança do local.

Diante disso, apresentam-se as seguintes medidas preconizadas:

- limpeza e desassoreamento das caixas coletoras e de passagem do BSTC Ø0,80, esconso, localizado entre as estacas 17762 e 17763;
- limpeza da face do muro ao longo do pé do talude;
- execução de drenos horizontais profundos, da ordem de 30,0m, para afastamento do lençol freático;
- limpeza e desobstrução dos DHP's existentes, incluindo a substituição dos drenos danificados e obturação com solo cimento ou argamassa daqueles que apresentam vazamento junto à saída;
- execução de uma contenção ativa junto ao muro existente (tipo grelha atirantada), justamente na região de maior concentração de tensões.
- recomposição do pavimento nas faixas de rolamento e acostamento;
- recomposição do sistema de drenagem superficial e subsuperficial.

A simulação da situação projetada de uma grelha atirantada, com tirantes de 30 tf a cada 2,5m, apontou um FS = 1,429, conforme verificado nas Figuras 11 e 12.

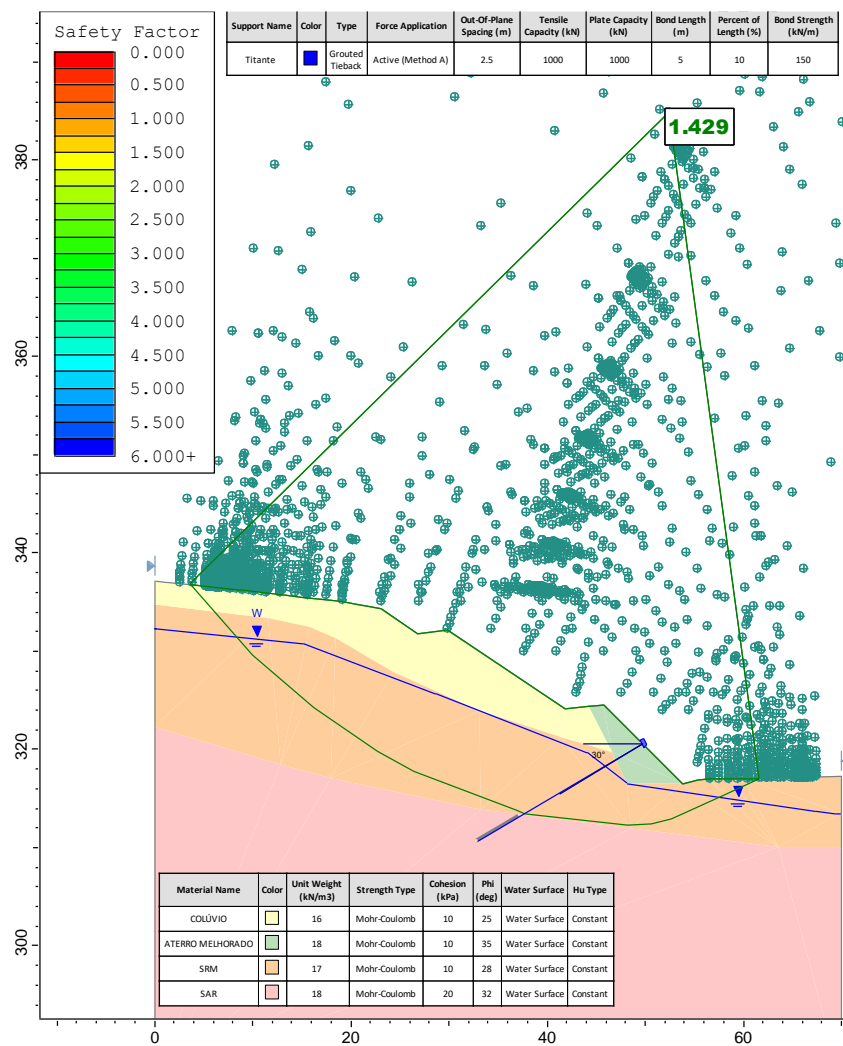


Figura 11: Análise de Estabilidade pelo Método não Circular (Método de Spencer) Situação Projetada

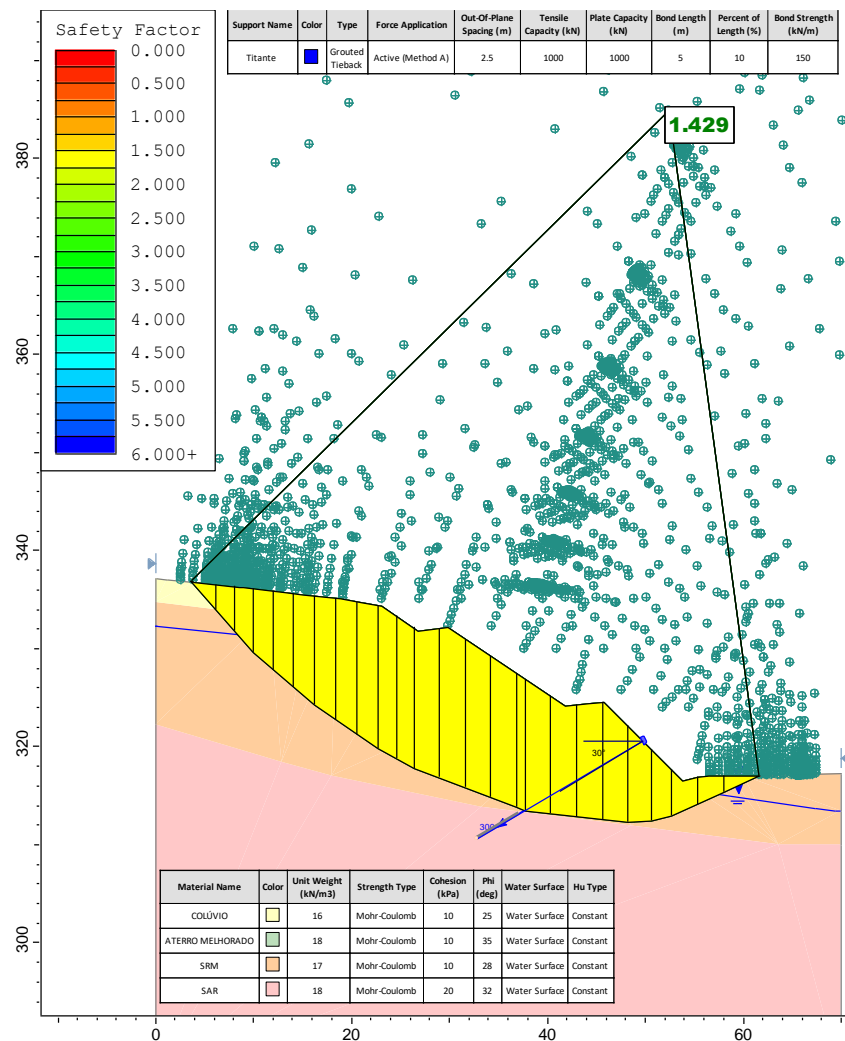


Figura 12: Análise de Estabilidade pelo Método não Circular (Método de Spencer)
Situação Projetada – Lamelas e carga dos tirantes

Os empuxos foram calculados pelo método de Culmann com auxílio do software Fides, conforme mostrado nas Figuras 13 e 14.

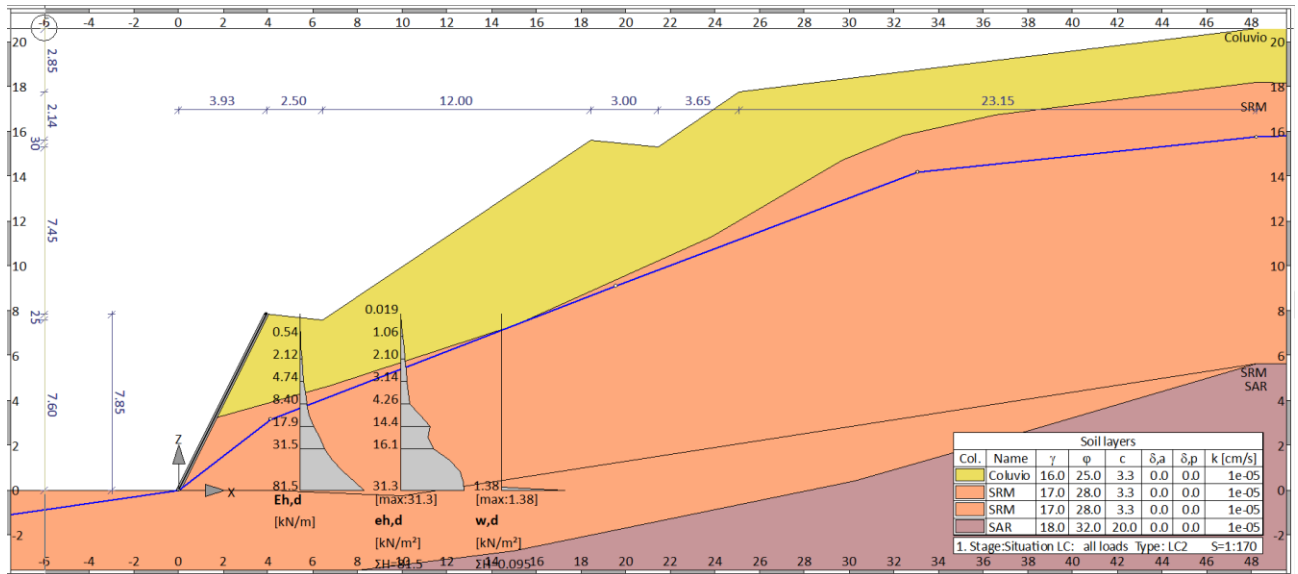


Figura 13: Cálculo dos empuxos pelo método de Culmann

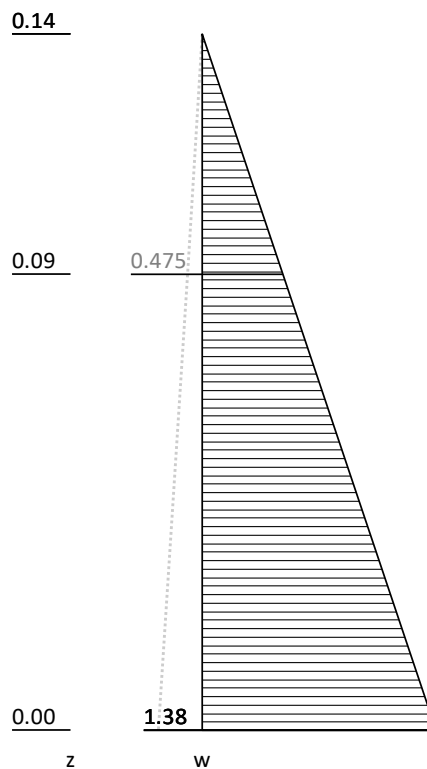


Figura 14: Diagrama de Empuxos pelo método de Culmann

Os coeficientes de reação horizontal e vertical foram adotados a partir de valores típicos propostos por Bowles, Davisson, Terzaghi e Vesic para os materiais ocorrentes na região de análises.

Considerando valores de $N_{SPT} > 30$ golpes, foram adotados os seguintes coeficientes de reação:

$$K_h \approx 4.500 \text{ tf/m}^3$$

$$K_v \approx 8.500 \text{ tf/m}^3$$

7. DESCRIÇÃO DAS OBRAS PROJETADAS

A concepção do projeto em questão contempla a implementação de uma contenção tipo grelha atirantada, constituída por 7 módulos dispostos de forma a não interceptar os DHP's existentes, capaz de garantir um fator de segurança adequado diante das tensões verificadas junto ao pé do talude. A contenção será responsável pela atuação contra a mobilização de superfícies de ruptura.

Paralelamente, prevê-se a recomposição do dreno de pavimento (tipo DPS-08) em toda a extensão do corte, até a caixa de passagem existente. Após a caixa de passagem, prevê-se a execução de um dreno subsuperficial tipo DSS-04, com declividade invertida em relação ao greide, no sentido da mesma caixa de passagem.

Implantação de mais uma linha de drenos horizontais profundos, instalados ao longo da grelha atirantada, num total de 64 DHP's com comprimento de 30,0m, para garantir a interceptação do contato geológico entre o SRM e o colúvio. Tais drenos atravessarão o maciço de enrocamento misturado com solo cimento nos seus 4,0m iniciais de perfuração.

Prevê-se, ainda, a reconstrução do sistema de drenagem superficial, com sarjeta de pista tipo STC-02.

A recuperação da estrutura do pavimento ao longo do trecho, também será contemplado, devendo ser executado ao final das obras de estabilização propostas, conforme definido na Sequência Executiva apresentada no desenho ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L4-002-R00.

8 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

Os desenhos do projeto de drenagem e pavimentação do km 353+600 são apresentados abaixo:

- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-C1-001 - Levantamento Topográfico –
Planta - Folha 1/2
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-C1-002 - Levantamento Topográfico –
Planta - Folha 2/2
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-D1-001 - Seções Geológico-Geotecnicas –
Folha 1/2
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-D1-002 - Seções Geológico-Geotecnicas –
Folha 2/2
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L4-001 - Contenção e Drenagem - Arranjo Geral -
Planta - Folha 1/2
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L4-002 - Contenção e Drenagem - Arranjo Geral -
Planta - Folha 2/2
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L4-003 - Contenção e Drenagem –
Grelha Atirantada - Vista Frontal
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L4-004 - Contenção e Drenagem –
Seções de Projeto- Folha 1/2
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L4-005 - Contenção e Drenagem –
Seções de Projeto- Folha 2/2
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L2-001 - Contenção e Drenagem –
Grelha Atirantada - Formas
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L2-002 - Contenção e Drenagem –
Grelha Atirantada - Armação - Módulo 1

- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L2-003 - Contenção e Drenagem –
Grelha Atirantada - Armação - Módulo 2
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L2-004 - Contenção e Drenagem –
Grelha Atirantada - Armação - Módulos 3 e 4
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L2-005 - Contenção e Drenagem –
Grelha Atirantada - Armação - Módulo 5
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L2-006 - Contenção e Drenagem –
Grelha Atirantada - Armação - Módulo 6
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L2-007 - Contenção e Drenagem –
Grelha Atirantada - Armação - Módulo 7
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L2-008 - Contenção e Drenagem –
Detalhes Típicos
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-L2-009 - Contenção e Drenagem –
Tirante de Barra - Detalhes
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-I2-001 - Pavimentação – Planta de Distribuição de
Pavimento - Folha 1/2
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-I2-002 - Pavimentação – Planta de Distribuição de
Pavimento - Folha 2/2
- ARB-116SP-353+600-REC-EXE-DE-I2-003 - Pavimentação – Seção Típica e Detalhes

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A ruína do sistema de drenagem superficial, subsuperficial e, conseqüentemente, do pavimento observados no local geraram o acúmulo de tensão na base do pé do talude inferior (enrocamento com solo cimento).

O surgimento da trinca longitudinal e trincas transversais no pavimento também pode ter sido decorrente do deslizamento do muro de enrocamento com solo cimento, refletindo nas estruturas existentes com um todo, em maior ou menor amplitude na extensão do trecho.

A conseqüente movimentação pode ter afetado alguns DHP's, deixando-os inoperantes.

A instalação de uma linha adicional de DHP's, mais profundos, busca afastar o nível d'água registrado no maciço, melhorando as condições de estabilidade, diante da elevação do N.A. por ocasião de eventos pluviométricos excepcionais, tais como os registrados ao longo do período da monitoração do mesmo.

Quanto à grelha atirantada, os comprimentos livres dos tirantes deverão ser confirmados no campo, de forma que o bulbo de ancoragem seja executado integralmente em terreno competente (comprimento ancorado de 8,00m).

O lençol de água subterrânea deverá estar rebaixado a pelo menos 1,50m em relação ao greide do pavimento.

A escavação da faixa de acostamento, visando a remoção do pavimento e da camada de rachão que encontra-se contaminada, deverá ser realizada em lance máximo de 15,0m de extensão (para minimizar o desconfinamento lateral junto ao pé do muro existente, preservando as condições de estabilidade do maciço).

Após a preparação do subleito que receberá o novo pavimento, prevê-se o preenchimento da cava com pedra rachão (3 camadas de 40, 30 e 30cm), seguido da sub-base com macadame seco (3 camadas de 20cm), concomitantemente à execução do dreno longitudinal profundo DPS-08, a ser executado de jusante para montante.

Para compatibilização entre estruturas, nova e projetada, propõe-se que a fundação do pavimento a ser reconstruído seja executada conforme a estrutura existente, ou seja, com uma camada final de terraplenagem (CFT) em pedra rachão. Esta camada de CFT de rachão deverá ter agregado de tamanho máximo de 8", compactadas em camadas de, no mínimo, 30 cm e máxima de 40 cm. deverá ser executada a camada de bloqueio sobre o subleito compactado, conforme indicado na especificação particular ARTERIS ES 003 (nov/2018).

Onde houver desnível aparente nas faixas 1 e 2 que não serão objeto de reconstrução total deverá ser executado o preenchimento com revestimento asfáltico até que se atinja a declividade adequada entre as faixas de rolamento, em concordância com a faixa a ser reconstruída.

10. ANEXOS

Constam como anexos deste relatório os seguintes documentos:

ARB-116SP-353+600-REC-EXE-MC-I2-001 – Memória de Cálculo do Projeto de Recuperação da Pavimentação – Dimensionamento do Pavimento.

ARB-116SP-353+600-REC-EXE-MC-L4-001 - Memória de Cálculo da Grelha Atirantada - Armação