ÍNDICE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
0	Emissão Original
1	Inclusão de análise das armaduras.

	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	16/02/2026	24/02/2026							
PROJETO	MNF	MNF							
EXECUÇÃO	T4H8	T4H8							
VERIFICAÇÃO	G85M	G58M							
APROVAÇÃO	T4H8	T4H8							

AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA PETROBRAS, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.

FORMULÁRIO PERTENCENTE À PETROBRAS N-0381 REV. L

PÚBLICA

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO 4

2 LOCAIS DOS PROJETOS 4

3 CRITÉRIOS DE PROJETO E DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS 6

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 8

PÚBLICA

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é dimensionar a proteção contra corrida de detritos nas travessias dos km 48+080, 55+300, 55+800 e 57+200. Os pontos foram definidos por um estudo contratado externamente em 2012 e validados na inspeção sazonal de 2017 após o incidente da corrida do km 48+670.

Atualmente, as corridas de detritos são amplamente relatadas pela literatura geotécnica em seus aspectos de caracterização, classificação e determinação de potencial destrutivo. Contudo, existem poucos estudos sobre a proteção de obras lineares como estradas, linhas de transmissão e faixas de dutos. Também é inexistente na literatura e na boa técnica a definição de uma filosofia de projeto para o dimensionamento geotécnico das soluções.

O conceito da estrutura proposta é baseado na experiencia da TRANSPETRO publicada nos trabalhos de Piedade Junior et al. (2019) e Serra et al. (2023) onde se propõe uma placa de concreto superficial e ancorada com uma parede de montante. As solicitações serão compostas por forças de arraste e impacto de blocos na estrutura.

Os dados do dimensionamento foram obtidos nos documentos de referência. Em momento anterior dos projetos, foram contratados estudos de reforço para as travessias onde foi feita a caracterização das bacias, dimensionamento de canais reforçados e desenhos pré-executivos. Em análise dos projetos a TRANSPETRO admite que a fundação das estruturas em estacas raiz pode ser otimizada mantendo-se os demais elementos anteriormente calculados.

As resistências são compostas pelo empuxo passivo da parede de ancoragem e pela força de atrito entre a estrutura e maciço local. Os esforços solicitantes serão obtidos de chuvas com TR=100 anos tidos como acidentais. A composição da verificação será por variante de estados limites últimos.

Uma vez que os documentos, embora contratados externamente, são de propriedade da Contratante, a TRANSPETRO se valerá da prerrogativa de assumir a responsabilidade por alterar os projetos e assim descaracterizar as responsabilidades e atribuições da Contratada.

Documentos de referência

- RL-4350.02-6500-115-RBU-002 - Dimensionamento Proteção Travessia;
- DE-4350.02-6500-115-RBU-002 - Planta de Situação / Seções Longitudinais Dutos;
- RL-4350.02-6500-115-RBU-005 - Dimensionamento Proteção Travessia;
- DE-4350.02-6500-115-RBU-007 - Planta de Situação / Seções Longitudinais Dutos;
- RL-4350.02-6500-115-RBU-008 – Dimensionamento Proteção Travessia;
- DE-4350.02-6500-115-RBU-012 – Planta de Situação / Seções Longitudinais Dutos;
- RL-4350.02-6500-115-RBU-011 – Dimensionamento Proteção Travessia;
- DE-4350.02-6500-115-RBU-017 - Planta de Situação / Seções Longitudinais Dutos.

2 LOCAIS DOS PROJETOS

A Figura 2.1 a 2.4 mostram os locais a serem reforçados. A Tabela 1 mostra as características das bacias.

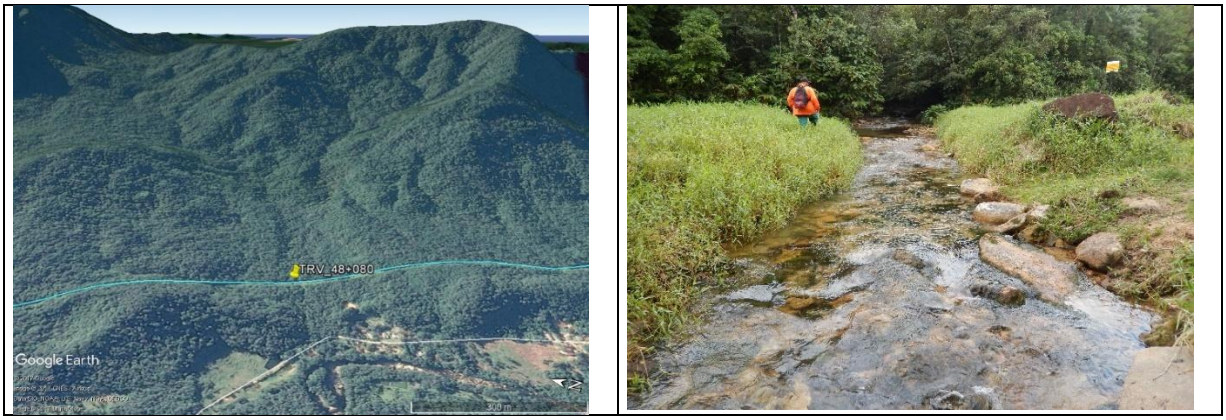


Figura 2.1 – km 48+080.



Figura 2.2 – km 55+300.

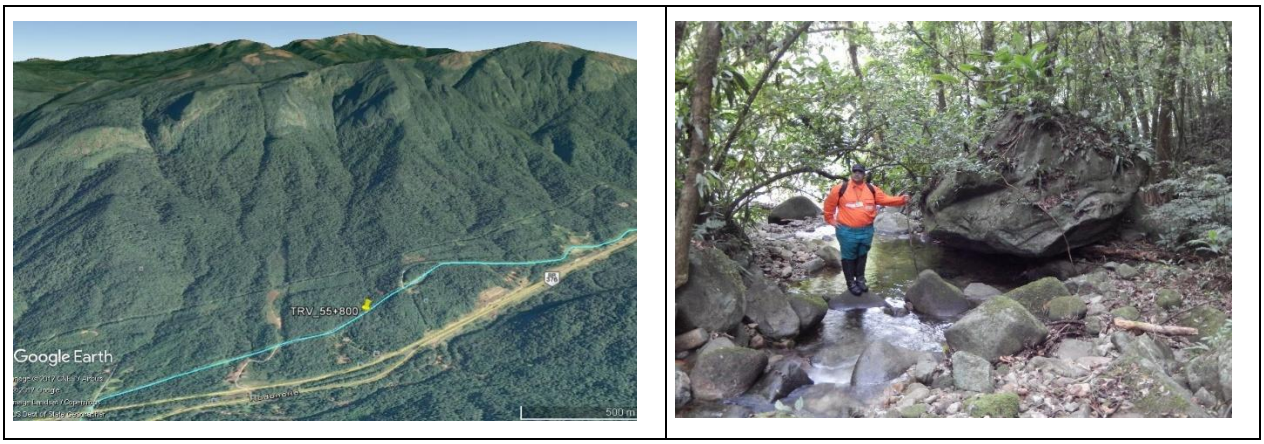


Figura 2.3 – km 55+800.



Figura 2.4 – km 55+800.

Tabela 2.1 – Características das bacias.

FX	Travessia	Área (km2)	Declividade	Q100 (m3/s)
OS	48+080	3,48	0,9	45,80
OS	55+300	0,56	1,0	10,04
OS	55+800	1,17	1,0	19,43
OS	57+250	0,45	1,4	21,37

3 CRITÉRIOS DE PROJETO E DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS

Em que as valorosas pesquisas e publicações sobre a conceituação, caracterização, avaliação de riscos, previsão de esforços e proposição de obras mitigadoras, a literatura geotécnica é escassa na diretriz de projeto focada na filosofia dos estados limites últimos. A análise de risco é feita de forma determinista pela adoção do tempo de retorno de projeto entre 100 e 200 anos. Os esforços são obtidos a partir destas vazões.

Por outro lado, a luz das melhores práticas como o EUROCODE 7 e a NBR 8681, é necessário identificar os tipos de esforços solicitantes, sua probabilidade de ocorrência e pertinência ou não de majorar os esforços. Da mesma forma as resistências precisam ser conceituadas e minoradas.

A proposição de um projeto de proteção contra corrida de detritos deve seguir as premissas regionais guiadas pela restrição de acessos, restrição de recursos, restrições ambientais e de uso e ocupação. Há que se ter em mente que o gatilho iniciador de corridas na Serra do Mar entre o Paraná e Santa Catarina são as chuvas intensas da ordem 150 mm em uma hora. Tais eventos tem ocorrência na região a cada 20 ou 30 anos de modo que quando ocorrem apresentam elevada vazão e transporte de blocos superiores a 1 m.

Para fins de comparação, a NBR 8681 estabelece que ações variáveis são relacionadas para 25% a 35% de probabilidade de ocorrência em 50 anos. Isso equivales a TR de 150 a 200 anos. Assim, uma vazão centenária pode ser considerada quase que como de recorrência permanente.

Nesse cenário, TR=100 anos será considerado uma carga acidental e por facilidade de composição será majorado em 1,4 conforme a norma brasileira de segurança. As resistências serão minoradas por 1,5 conforme valor mínimo utilizados para deslizamento de taludes e de muros de arrimo.

O carregamento será dado pela pressão de arrasto distribuída na área de batimento da vida. O impacto de blocos concomitante ao arrasto pode ocorrer e deverá ser adotado como força. O valor do coeficiente de arrasto Cd será de 1,0. Conforme a NBR 8681, pode majorar cargas pela incerteza de sua ocorrência e pela incerteza de sua determinação pelos métodos de cálculo. Neste

caso, se considera que a adoção de TR=100 anos ao invés do TR=2 anos compensa a incerteza da ocorrência, ao passo que o fator de majoração corrige as limitações quanto a determinação.

As hipóteses de cálculo por estados limites são:

- Hipótese 1 – Acidental. Majorando as força de arrasto da TR=100 anos por fator de 1,4;

$$\mathbf{1,4 \times F_{hip1} < R/1,5}$$

- Hipótese 2 – Excepcional. Somando a Força de arrasto com o impacto do bloco sem majoração.

$$\mathbf{1,0 \times F_{hip2} < R/1,5}$$

A Tabela 3.1 mostra os dados do depósito de detritos local. Também são determinados os empuxos passivos para embutimento de viga de 1 m e o cisalhamento no contato entre o depósito e o concreto. Considerada espessura da laje de 25 cm.

Tabela 3.1 – Dados do solo local.

ϕ	25	°
Coef. empuxo passivo - kp	2,46	
Altura da viga	1	m
γ sub	8	kN/m3
Empuxo passivo - EP/m	9,84	kN/m
σ'v	4,5	kN/m2
Cisalhamento na interface	2,1	kN/m2

Os esforços são determinados pela pressão de arraste da estrutura aplicada na área de batimento da viga de montante. A equação 1 foi utilizada para determinação da força de arraste.

$$F = 0,5 \times \rho \times Cd \times A \times v^2/1000 \qquad (1)$$

Onde:

- ρ é a densidade da corrida em fluxo (kgf/m3);
- Cd é o Coeficiente de Arrasto;
- A é a área de batimento da vida e bordas da laje (m2);
- F é a força em kN;
- v é a velocidade da corrida.

Para o cálculo da força de impacto pode-se utilizar a equação 2.

$$F = 2 \times \rho \times A \times v^2/9,8 \qquad (2)$$

Onde:

- ρ é a densidade da corrida em fluxo (kN/m3);

- A é a área de batimento de um bloco de 1 m de aresta (m2);
- v é a velocidade da corrida;
- F é a força em kN.

A Tabela 3.2 mostra as determinações das forças de arrasto e de impacto de blocos para as bacias e as cargas das hipóteses 1 e 2. A Tabela 3.3 mostra a determinação dos empuxos passivos e sua minoração.

Tabela 3.2 – Dados do solo local.

		Força de arrasto				Impacto de bloco			Hipótese 1		Hipótese 2	
FX	Travessia	Cd	V (m/s)	Área de aplicação	F arrasto	bloco	F impacto (kN)		F arrast x 1,4	Status	Farrast+bloco	Status
OS	48+080	1,0	4,9	24	351	1	132,0		492	ok	483,4	ok
OS	55+300	1,0	4,1	19,3	198	1	92,7		278	ok	291,2	ok
OS	55+800	1,0	4,5	18,5	221	1	107,6		309	ok	328,4	ok
OS	57+250	1,0	4,8	19,5	274	1	126,7		384	ok	400,8	ok

Tabela 3.3 – Dados do solo local.

		Empuxos					Atrito na base				Resist. De cálculo	
FX	Travessia	h (m)	Ep kN/m	Larg. Viga	Larg Final	EP	Largura fundo (m)	Comp. Canal	Tensão/m2	Atrito total	Rúlt	Rd
OS	48+080	1,0	9,8	17,5	18	172	15,5	25,0	2,1	814	985,95	657
OS	55+300	1,0	9,8	14	14	138	12,0	25,0	2,1	630	767,76	512
OS	55+800	1,0	9,8	14	14	138	12,0	25,0	2,1	630	767,76	512
OS	57+250	1,0	9,8	13,5	14	133	11,5	25,0	2,1	604	736,59	491

Com relação as ferragens, a largura da viga deverá ser redimensionada para 50 cm. Da mesma forma as armaduras do engaste entre a viga e a laje precisarão ser redimensionadas conforme o diagrama de esforços da Figura 3.1.

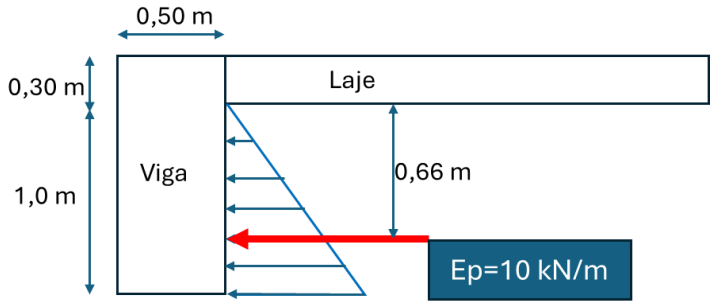


Figura 3.1 – Diagrama de cargas para dimensionamento do engaste.

O empuxo foi calculado para o embutimento de 1,0 m, γsub = 8 kN/m3 e ϕ = 25°.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das análises apresentadas recomenda-se para a correção desenhos:

a) Remover as estacas mantendo-se as vigas e demais dimensões;

b) Acertar a angulação de entrada e saída da proteção de modo a evitar sair demasiadamente dos limites da faixa de dutos;

c) Pequenas alterações de representação conforme orientação;

d) Redimensionar o engaste entre viga e laje conforme o diagrama especificado;

e) As demais armaduras não necessitam ser alteradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – NBR 8681 (2003), "*Ações e segurança nas estruturas*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

EUROCODE 7 (1997-1), "*Proyecto Geotécnico"*. Norma Europea Experimental. AENOR – Asociación Española de Normatización y Certificación. Madrid.

Piedade Junior, C. R. C., Rigo, M. L., Langone, M. J. Cruz, K. V., De Paula, H. X., Cordeiro, G. L., Oliveira, H. R. (2019). "*DEBRIS FLOW IN SERRA DO MAR/PR, BRAZIL, IN 2017: DAMAGES TO RIGHT OF WAY, RECOVERY AND PROTECTION ACTIONS*". Rio Pipeline Conference & Exhibition, Rio de Janeiro.

Mascarenhas, P. V. S., Russo Jr, W. C., Santos, T. C, Guimarães Neto, J. D. (2023), "*PRIORITIZATION CRITERIA FOR DEBRIS FLOW ENGINEERING WORKS TO PROTECT PIPELINES IN THE BRAZILIAN SERRA DO MAR REGION, SÃO PAULO.* IPG – International Pipeline Geotechnical Conference, Bogotá.